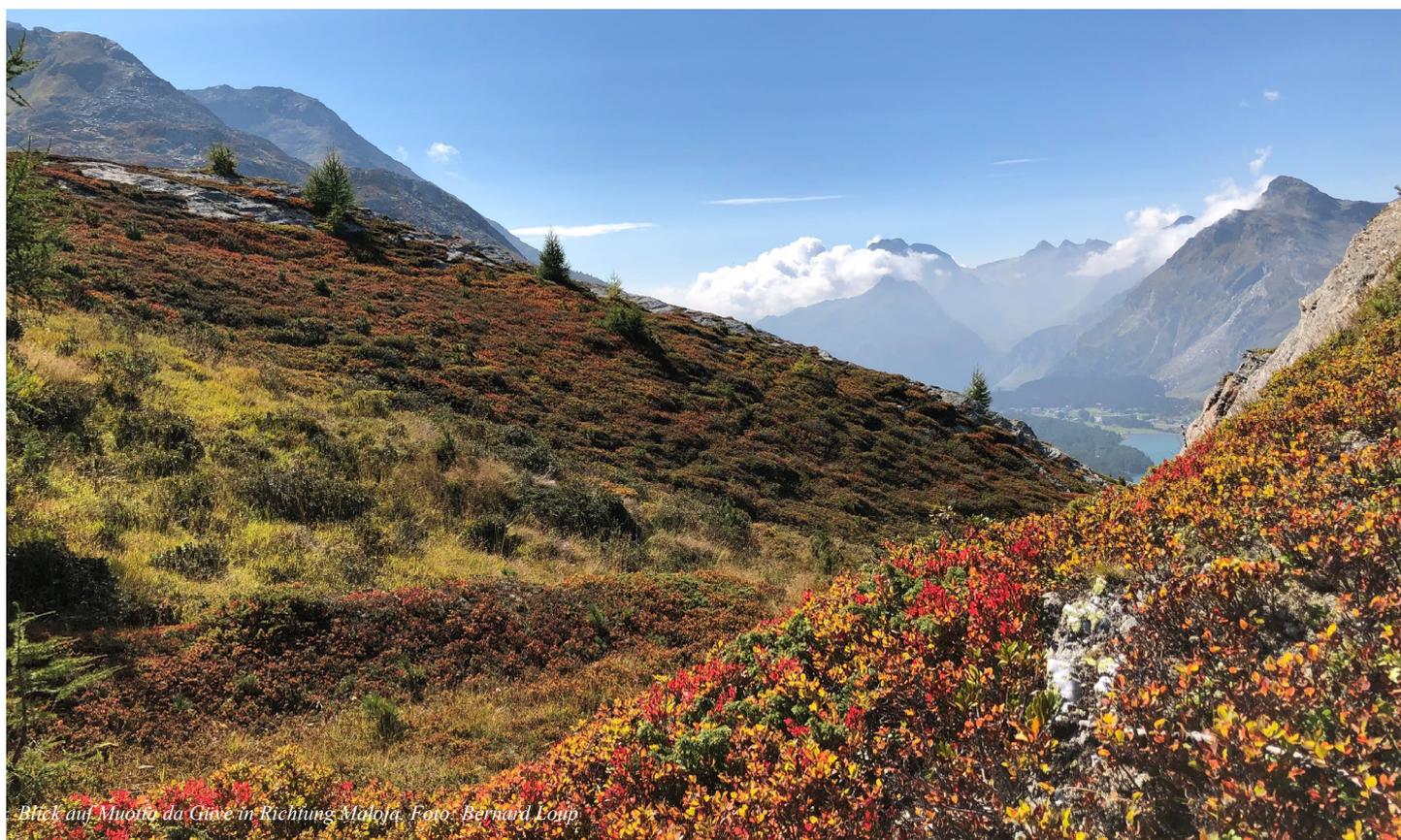




# AGENDA



*Blick auf Muotta da Güve in Richtung Maloja. Foto: Bernard Loup*

## Inhalt

Betroffene zu Beteiligten machen - Das Handbuch für die Partizipation bei Wasserbauprojekten.....	4
Rückblick FAN Kleinforum zum Thema Umsetzung von Modellierungsergebnissen in Gefahrenbeurteilungen für Wasserprozesse.....	8
Recommandations pour l'évaluation des dangers d'érosion des berges des cours d'eau.....	12
Angewandte 3D-Murgang - und Hangmurensimulationen berücksichtigen die Materialzusammensetzung - Chancen für die Berechnung von Ereignissen im Klimawandel?.....	19
Standards minimaux pour les vues d'ensemble cantonales des risques liés aux dangers naturels gravitaires.....	25
Minimale Standards für kantonale Risikoübersichten gravitativer Naturgefahren.....	29
Gefahrenkarten in der Schweiz - Entwicklung und Umsetzung.....	33
Synthèse du cours d'automne 2019: Glissements spontanés et coulées boueuses - Où en sommes - nous? Quels besoins d'action?.....	45
Fundationen im Permafrost - Stand der Technik .....	57

**Herausgeber / Editeur**

FAN Fachleute Naturgefahren Schweiz

**Offizielle Adresse / Adresse officielle**

Christoph Graf, WSL  
Zürcherstrasse 111  
8903 Birmensdorf  
Tel. 044 739 24 54, E-Mail: christoph.graf@wsl.ch

**Sekretariat, Administration, Kurswesen /****Secrétariat, administration, cours**

FAN Sekretariat c/o geo7 AG  
Neufeldstrasse 5-9, 3012 Bern  
Tel. 031 300 44 33  
E-Mail: kontakt@fan-info.ch  
Internet: <http://www.FAN-Info.ch>

**Redaktion FAN-Agenda /****Rédaction Agenda-FAN**

Jean-Jacques Thormann, HAFL, Zollikofen  
Alexandre Badoux, WSL, Birmensdorf  
Martin Frei, MFrei Infra GmbH, Amriswil  
Bernard Loup, BAFU, Ittigen

**Zielsetzung der FAN**

Die Tätigkeit der FAN steht im Dienste der Walderhaltung und dem Schutz vor Naturgefahren. Sie widmet sich insbesondere dem Thema Weiterbildung bezüglich Lawinen-, Erosions-, Wildbach-, Hangrutsch- und Steinschlaggefahren. Die ganzheitliche, interdisziplinäre Beurteilung und Erfassung von gefährlichen Prozessen sowie die Möglichkeiten raumplanerischer und baulicher Massnahmen stehen im Zentrum.

**Mitgliedschaft bei der FAN**

Die Mitglieder der FAN sind Fachleute, welche sich mit Naturgefahren gemäss Zielsetzung der Arbeitsgruppe befassen. Total umfasst die FAN über 400 Mitglieder aus der ganzen Schweiz. Mitgliedschaftsanträge sind an den Präsidenten oder Sekretär zu richten. Die Mitgliedschaft in der FAN kostet Fr. 100.– / Jahr und steht allen Fachleuten aus dem Bereich Naturgefahren offen.

**Objectif de la FAN**

La FAN est au service de la conservation des forêts et de la protection contre les dangers naturels. Elle se consacre en particulier au thème du perfectionnement dans le domaine des dangers que représentent les avalanches, l'érosion, les torrents, les glissements de terrain et les chutes de pierres. Elle met aussi l'accent sur deux aspects importants: des évaluations et des relevés globaux et interdisciplinaires des processus dangereux, et les mesures possibles en matière d'aménagement du territoire et de génie forestier.

**Adhésion à la FAN**

Les membres de la FAN sont des spécialistes qui s'occupent de dangers naturels conformément aux objectifs du groupe de travail. La FAN comprend au total plus de 400 membres, répartis dans toute la Suisse. Les demandes d'adhésion doivent être adressées au président ou au secrétaire. L'adhésion à la FAN coûte fr. 100.– / an. Elle est ouverte à tous les spécialistes des dangers naturels.

# Avant-propos

Chères lectrices, Chers lecteurs,

Chers membres de la FAN,

L'année 2020 touche à sa fin et restera assurément en mémoire comme une année bien particulière. La situation sanitaire nous a obligés à faire preuve de flexibilité. Nous avons malgré tout pu apporter, cette année encore, notre contribution à une meilleure protection contre les effets des dangers naturels.

Notre association a dû montrer de la créativité et une grande capacité d'adaptation. Le Forum de février a pu se dérouler normalement, le jour-même où le Conseil fédéral interdisait les grands rassemblements. Le cours pratique sur l'évaluation des dangers a par contre dû être reporté à 2021, alors que le cours d'automne sur les conflits décisionnels était annulé.

Dans ce contexte, l'Agenda-FAN constitue plus que jamais un organe d'échange entre les membres. L'édition 2/2020 propose des contributions touchant différents aspects de la gestion des risques. Un premier article propose des pistes permettant de transformer les personnes concernées en personnes impliquées, dans toutes les phases de planification. L'évaluation des dangers est illustrée par deux articles sur la modélisation, par des recommandations pour le processus d'érosion des berges, par une discussion sur l'évolution et la mise en œuvre des cartes de dangers, et par une synthèse du cours d'automne 2019 sur les coulées boueuses. La présentation de standards pour les vues d'ensemble cantonales des risques illustre l'étape 'risques'. Enfin, des contributions sur les fondations en permafrost et sur des mesures de protection objet abordent des solutions de mitigation.

Beaucoup de plaisir à la lecture de votre Agenda-FAN et déjà tous nos vœux pour la prochaine année, que nous espérons plus sereine!

*Groupe de rédaction Agenda-FAN*

# Vorwort

Liebe Leserinnen, liebe Leser

Liebe Mitglieder der FAN

Das Jahr 2020 neigt sich dem Ende zu und wird sicherlich als ein ganz besonderes Jahr in Erinnerung bleiben. Die Gesundheitssituation hat uns gezwungen, flexibel zu sein. Dennoch konnten wir auch in diesem Jahr unseren Beitrag zu einem besseren Schutz vor den Auswirkungen von Naturgefahren leisten.

Unser Verein musste seine Kreativität und seine grosse Anpassungsfähigkeit zeigen. Das Forum konnte am Tag, an dem der Bundesrat grössere Veranstaltungen verboten hat, noch normal durchgeführt werden. Der Praxiskurs "Gefährdungsbeurteilung gravitative Naturgefahren" musste jedoch auf 2021 verschoben werden, während der Herbstkurs zum Thema Entscheidungskonflikten abgesagt wurde.

In diesem Kontext ist die FAN-Agenda noch mehr eine notwendige Plattform für den Austausch zwischen den Mitgliedern. Die Ausgabe 2/2020 bietet einen Strauss von Beiträgen zu verschiedenen Phasen des Risikomanagements. Ein erster Artikel zeigt Wege auf, wie Betroffene zu Beteiligten in allen Planungsphasen gemacht werden können. Die Gefahrenbeurteilung wird durch zwei Artikel über Modellierung, Empfehlungen zur Gefahrenbeurteilung bei Ufererosion, eine Diskussion über die Entwicklung und Umsetzung von Gefahrenkarten und ein Fazit des Herbstkurses 2019 zu Hangmuren illustriert. Die Vorstellung von Standards für kantonale Risikoübersichten veranschaulicht den Schritt der Risikobeurteilung. Schliesslich stellen Beiträge zu Foundationen im Permafrost und Objektschutzmassnahmen Lösungen zur Risikominderung vor.

Wir wünschen Ihnen viel Spass bei der Lektüre Ihrer FAN-Agenda und wünschen Ihnen schon jetzt alles Gute für das hoffentlich ruhigere kommende Jahr!

*Redaktionsteam FAN-Agenda*

# Betroffene zu Beteiligten machen

## Das Handbuch für die Partizipation bei Wasserbauprojekten

Andrea Pozzi <sup>1</sup> (andrea.pozzi@nipo.ch)

Markus Hostmann <sup>2</sup> (markus.hostmann@bafu.ch)

<sup>1</sup> Niederer + Pozzi Umwelt AG

<sup>2</sup> Bundesamt für Umwelt BAFU

### Résumé

Les projets de génie hydraulique touchent de nombreux intervenants. Afin d'identifier les besoins les plus importants de tous les participants à un projet, il est crucial de définir les demandes des personnes concernées par le projet à un stade précoce. Il n'existe pas de recette standard pour mettre en œuvre la participation à des projets de génie hydraulique. Tout doit être optimisé en fonction des conditions générales et du contenu de la planification.

Le manuel de participation aux projets d'ingénierie hydraulique vise à fournir une orientation précieuse pour cette tâche complexe. Il montre comment la participation à des projets de génie hydraulique (projets de protection contre les crues et de revitalisation) peut être mise en œuvre efficacement. Le contenu est basé sur l'expérience pratique de la Suisse et des pays voisins. La structure du manuel suit le déroulement d'un projet.

Le manuel s'adresse aux spécialistes qui sont responsables de la planification et de la réalisation de projets d'aménagement hydraulique dans les cantons, les communes et le secteur privé.

### Zusammenfassung

Wasserbauprojekte tangieren zahlreiche Akteure. Um die wichtigsten Bedürfnisse aller involvierten Projektbeteiligten zu erkennen, ist eine frühzeitige Erkennung der Ansprüche aller im Projekt Betroffenen ausschlaggebend. Für die Durchführung von Partizipation bei Wasserbauprojekten gibt es kein Standardre-

zept. Alles muss je nach Rahmenbedingungen und den Planungsinhalten optimiert werden.

Das Handbuch für die Partizipation bei Wasserbauprojekten möchte dazu eine wertvolle Orientierung für diese komplexe Aufgabe bieten. Es zeigt auf, wie die Partizipation bei Wasserbauprojekten (Hochwasserschutz- und Revitalisierungsprojekte) wirkungsvoll durchgeführt werden kann. Der Inhalt basiert auf praktischen Erfahrungen aus der Schweiz und dem benachbarten Ausland. Die Struktur des Handbuchs folgt dem zeitlichen Ablauf eines Projekts.

Das Handbuch richtet sich an Fachpersonen, welche in Kantonen, Gemeinden und Privatwirtschaft für die Planung und Umsetzung von Wasserbauprojekten zuständig sind.

### Wasserbauprojekte sind raumwirksame Tätigkeiten

Bei raumwirksamen Tätigkeiten ist die Interessensabwägung eine gesetzliche Aufgabe.

Gemäss Art. 3 der Raumplanungsverordnung sind die betroffenen Interessen zu ermitteln, zu beurteilen und zu berücksichtigen. Darauf folgt eine Abwägung der öffentlichen Interessen.

Gemäss Art. 5 der Bundesverfassung muss staatliches Handeln im öffentlichen Interesse liegen und verhältnismässig sein. Ebenfalls ist eine Abwägung von Massnahmen im öffentlichen Interesse gegenüber den dadurch entstehenden Einschnitten in private Interessen und Grundrechte durchzuführen.

### Partizipation als Grundlage für den Risikodialog und für die Ermittlung der öffentlichen und privaten Interessen

«Die Partizipation der Akteure stellt sicher, dass ein aktiver Risikodialog stattfindet». (Strategie «Umgang mit Risiken aus Naturgefahren», PLANAT 2018).

Die wichtigsten Erkenntnisse für die erfolgreiche Umsetzung von Partizipationsmassnahmen bei raumwirksamen Tätigkeiten sind folgende:

- Partizipation kann nur gelingen, wenn die Akteure Vertrauen in die Projektverantwortlichen haben. Dies bedingt eine offene, interessierte und respektvolle Haltung von den Verantwortungsträgern gegenüber den Akteuren.
- Partizipation erfordert eine gründliche Vorbereitung. Es wird empfohlen, ein Argumentarium zum Projekt zu verfassen, die spezifischen Rahmenbedingungen (gesellschaftliche, politische, rechtliche, technische) sowie die Akteure und deren Bedürfnisse präzise zu analysieren und eine geeignete interne Organisation festzulegen.
- Für die Argumentation zugunsten des Vorhabens ist der Mehrwert des Projekts für die verschiedenen Akteure heraus zu schälen. Dazu zählt insbesondere der Nutzen des Projekts, der über die eigentlichen Projektziele Hochwasserschutz oder ökologische Aufwertung hinausgeht. Mancher Nutzen eines Projekts wird erst im Rahmen der Partizipation sichtbar.

- Partizipation ist untrennbar mit Kommunikation verknüpft. Ohne leicht verständliche Kommunikation zum Projekt kann kein zielführender Dialog stattfinden. Wer Partizipation umsetzt, muss also ebenso sorgfältig kommunizieren (siehe Abbildung 2).
- Sehr entscheidend ist die Klärung des Handlungsspielraums im Projekt und der Spielregeln für die Partizipation. Die Festlegung der Spielregeln kann selbst zum Thema der Partizipation werden.
- In der Umsetzung muss Partizipation die Akteure phasengerecht einbeziehen: In der Phase Vorstudien erfolgt Partizipation zur Zieldefinition und Bedürfniserklärung; in der Phase Vorprojekt zum Einholen von Rückmeldungen und zur Konsensfindung; und in der Phase Bauprojekt/ Auflageprojekt zum Finden von Detaillösungen.
- Um gute Ergebnisse zu erreichen, ist es wichtig, Verbindlichkeit herzustellen, indem der Umgang mit den Resultaten klar geregelt wird. Die Resultate sind gut und transparent zu dokumentieren. Und je nach Inhalten und Akteuren ist der Umgang mit vertraulichen Informationen zu besprechen.

Die Durchführung eines partizipativen Prozesses wird durch den Bund finanziell unterstützt (2 % Mehrleistungen für Einzelprojekte).

### Struktur des Handbuchs

Jedes Wasserbauprojekt hat seine ganz eigene Ausgangslage, Zielsetzungen und Herausforderungen. Das Gleiche gilt natürlich auch für die Partizipationsprozesse der jeweiligen Projekte. Aus diesem Grund können Partizipationsprozesse nicht mit einheitlichen oder gar standardisierten Vorgehensmustern gemeistert werden. Für jeden Prozess muss eine sorgfältige Analyse vorgenommen und darauf basierend die richtige Strategie und Methodik entwickelt werden. Dieses Handbuch bietet im Sinne einer Landkarte Orientierung für

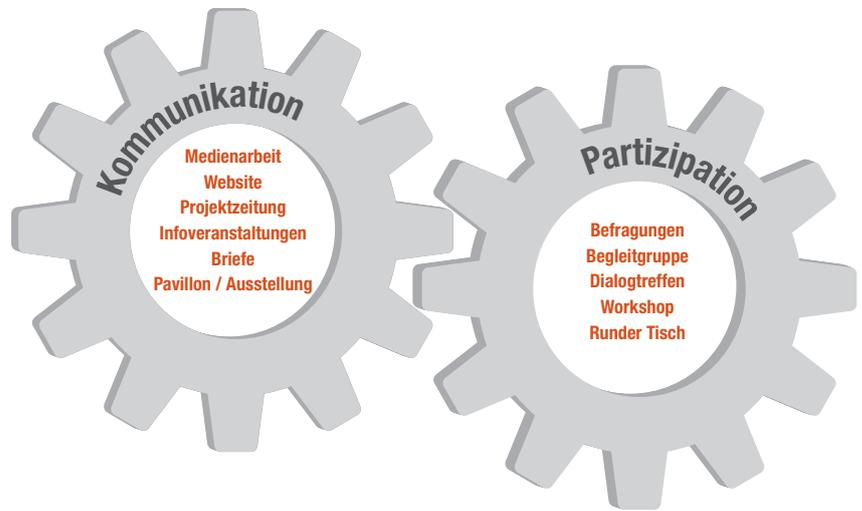


Abbildung 1: Kommunikations- und Partizipationsmassnahmen sind eng miteinander verzahnt.

den Partizipationsprozess: Welche Wege sind erfahrungsgemäss gangbar? Wo können entscheidende Hindernisse liegen? Wie kann der Prozess Schritt für Schritt umgesetzt werden?

Das Handbuch ist dementsprechend aufgebaut:

1. Kapitel: Grundüberlegungen zum Einsatz der Partizipation
2. Kapitel: Der zeitliche Ablauf der Partizipation
3. Kapitel: Notwendige Vorbereitungen für eine erfolgreiche Partizipation
4. Kapitel: Umsetzung der Partizipation: Wichtige Schritte und Erfolgsfaktoren

### Der partizipative Prozess bei der Erarbeitung des Handbuchs

Die Erarbeitung des Handbuchs entstand selbstverständlich auch in einem partizipativen Prozess. Zunächst fanden Interviews mit erfahrenen Projektleitern aus Bund, Kantonen und Privatwirtschaft statt. Im Anschluss darauf wurde ein erstes Manuskript an eine Begleitgruppe zur Stellungnahme entsendet. In einer Begleitgruppenkonferenz wurde das Manuskript diskutiert, vervollständigt und nachbearbeitet sowie mit Zitaten der Beteiligten ergänzt.

Das Schlussmanuskript gelangte dann nochmals zur Vernehmlassung bei den Beteiligten und wurde bis hin zum Druck weiter vervollständigt.

### Die Akteuranalyse mit dem Ziel Vertrauen aufzubauen

Partizipation kann nur gelingen, wenn die Akteure ausreichend Vertrauen in die Projektverantwortlichen haben. Dies bedingt in erster Linie eine offene, interessierte und respektvolle Haltung von den Verantwortungsträgern gegenüber den Akteuren.

*Zitat Laurent Filippini: «Schwierige Probleme können an einem runden Tisch besser diskutiert werden. Vertrauen ist dabei eine sehr wichtige Sache. Die Landwirte brauchen bei diesen Prozessen immer etwas mehr Zeit. Sie verteidigen ihren Beruf. Verbände reagieren anders».*

Personen, die von einem Projekt stark betroffen sind, reagieren im ersten Moment oft emotional mit Angst und Wut. Sie lassen sich kaum mit technischen Argumenten überzeugen. Erst wenn sie sich gehört und respektiert fühlen, ist eine sachliche Diskussion über das Projekt möglich.



wobenen, meist unterschwellig verlaufenden Diskurses auf der Ebene der Haltungen und Werte. Gemeint sind zum Beispiel Verteilungsgerechtigkeit (wer muss dabei wie viel opfern?), empfundene Fairness und Transparenz sowie Verantwortung gegenüber zukünftigen Generationen.

### Hier stösst Partizipation an Grenzen:

- Zu kleiner Handlungsspielraum:  
Wenn Handlungsspielraum fehlt, wird Partizipation zur Alibiwirkung. Der Handlungsspielraum kann zum Beispiel aufgrund enger technischer Vorgaben beschränkt sein. Dies gilt es vor Beginn der Partizipation zu klären.
- Unzureichende Ergebnisoffenheit innerhalb des Gestaltungsspielraums:  
Innerhalb des definierten Gestaltungsspielraums des Projekts muss das Ergebnis offen sein. Ansonsten können die erarbeiteten Resultate eventuell nicht umgesetzt werden, was auf allen Seiten zu Frustration und Vertrauensverlust führt.
- Ungeeignete Haltung der Projektverantwortlichen:  
Wenn die Projektverantwortlichen zu wenig Interesse und Offenheit gegenüber den Zielgruppen zeigen, kann dies die Glaubwürdigkeit des Partizipationsprozesses gefährden.
- Unüberwindbare Konflikte:  
Wenn gravierende Konflikte entstehen oder eskalieren, muss die Partizipation allenfalls unterbrochen werden. Hier können Mediation zur Konfliktbeilegung oder bilaterale Gespräche zwischen den Konfliktparteien helfen.

### Das kann mit Partizipation erreicht werden:

<p> <b>Wichtige Informationen erhalten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Bedürfnisse verschiedener Zielgruppen und mögliche Werte des Projekts erkennen</li> <li>→ Beeinträchtigungen, Nachteile des Projekts verstehen</li> <li>→ Lokal vorhandenes Wissen erfahren</li> <li>→ Neue Ideen kennenlernen</li> </ul>	<p> <b>Das Projekt verbessern</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Ziele und Bedürfnisse der Akteure im Projekt nach Möglichkeit berücksichtigen</li> <li>→ Blinde Flecken in der Analyse und Planung erkennen</li> <li>→ Bedarfsgerechte Lösungen finden</li> <li>→ Konsens erreichen</li> <li>→ Gute und breit akzeptierte Entscheidungen treffen</li> <li>→ Kosten für Fehlplanungen vermeiden</li> </ul>
<p> <b>Reibungen reduzieren, den Prozess beschleunigen und Zeit sparen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Raum erhalten, um das Projekt zu erläutern, Fragen zu beantworten und Missverständnisse zu klären</li> <li>→ Mögliche Konflikte frühzeitig erkennen und Lösungen finden, bevor die Konflikte eskalieren (z. B. Einsprachen)</li> <li>→ Einsprachen nach Projektaufgabe verhindern oder reduzieren</li> <li>→ Akzeptierte und tragfähige Lösungen finden</li> <li>→ Fundament des Vertrauens für die weitere Zusammenarbeit mit den Zielgruppen aufbauen</li> <li>→ Kompensationsmöglichkeiten für negative Auswirkungen erarbeiten</li> </ul>	<p> <b>Kompetenzen der Zusammenarbeit fördern</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Kompetenzen in der Zusammenarbeit im Projektteam und mit externen Zielgruppen fördern</li> </ul>

Abbildung 4: Das kann mit Partizipation erreicht werden.

### Download des Handbuchs

in Deutsch



und Französisch



### Auftraggeber

BAFU, Abteilung GeP

### Auftragnehmer

Niederer & Pozzi Umwelt AG /  
Leuzinger und Benz AG

### Interviewpartner

- Laurent Filippini (TI)
- Steve Guerne (JU)
- Klaus Michor (A)
- Willy Müller (BE)
- Olivier Stauffer (VD)
- Markus Schwizer† (Gde. Kaltbrunn)
- Caroline Valeiras (VD)
- Markus Zumsteg (AG)

### Begleitgruppe

- Sylvia Durrer (LU)
- Roger Dürrenmatt (SO)
- Ernst Philipp (UR)
- Markus Wyss (PLANAT, BE)
- Urs Anderegg (VS)
- Markus Schwizer (Gde. Kaltbrunn)
- Edgardo Malé (Korporation TI)
- Marc Osterwalder (Stadt Kloten)
- Markus Jud (Meier + Partner AG)
- Christian Stettler (Urbaplan)
- Helena Zemp (FHNW)
- Anton Stübi (BLW)
- Katharina Edmaier (BAFU)
- Carlo Scapozza (BAFU)

# Rückblick FAN Kleinforum zum Thema:

## «Umsetzung von Modellierungsergebnissen in Gefahrenbeurteilungen für Wasserprozesse»

Andy Kipfer <sup>1</sup>([andy.kipfer@geo7.ch](mailto:andy.kipfer@geo7.ch))  
 Catherine Berger <sup>1</sup>([catherine.berger@geo7.ch](mailto:catherine.berger@geo7.ch))  
 Melissa Graber <sup>1</sup>([melissa.graber@geo7.ch](mailto:melissa.graber@geo7.ch))  
 Natascia von Wattenwyl <sup>1</sup>([natascia.vonwattenwyl@geo7.ch](mailto:natascia.vonwattenwyl@geo7.ch))

<sup>1</sup>geo7 AG, Bern

### Résumé

Quelles sont les applications utiles des résultats de la modélisation à l'évaluation des risques pour les processus liés à l'eau? Plus de 20 experts ont traité cette question dans le cadre d'un petit forum du FAN. La discussion engagée a révélé différentes manières de penser et de perspectives, mais aussi des besoins de résultats et de produits différents. Il n'existe pas de " juste " ou de " faux ". Les points de vue et les besoins peuvent varier en fonction de l'application concrète. Le petit forum n'a pas encore pu clarifier les questions en suspens, mais il a permis d'établir un point de départ pour des considérations utiles et des discussions plus approfondies.

### Zusammenfassung

Wie können Modellierungsergebnisse in Gefahrenbeurteilungen für Wasserprozesse sinnvoll umgesetzt werden? Mit dieser Frage beschäftigten sich mehr als 20 Fachleute im Rahmen eines Kleinforums der FAN. Die engagierte Diskussion zeigte verschiedene Denk- und Sichtweisen, aber auch verschiedene Bedürfnisse an Resultate und Produkte auf. Ein «richtig» oder «falsch» existiert nicht und Sichtweisen und Bedürfnisse können je nach konkretem Anwendungsfall variieren. Mit dem Kleinforum konnten die offenen Fragen noch nicht geklärt, aber ein Startpunkt für wertvolle Überlegungen und weitere Diskussionen gelegt werden.

### Einleitung

#### Ausgangslage

Modellierungen sind als Grundlage für die Erstellung von Gefahrenbeurteilungen in vielen Fällen unentbehrlich. Als Grundlage dienen dabei z.B. Terrainmodelle, welche eine immer bessere Auflösung und Qualität aufweisen. Dadurch können detailliertere Modellierungsergebnisse erzielt und Abgrenzungen von Intensitäten oder Gefahrenstufen präziser festgelegt werden, vor allem auch in flachen Gebieten mit wenig eindeutigen Fließwegen. Insbesondere bei der Modellierung von Wassergefahren in flachen Gebieten ist damit aber auch ein Verlust an Persistenz gegenüber lokalen Änderungen (z.B. Neubauten) verbunden. Bereits kleine Änderungen können erhebliche Auswirkungen auf ein Modellierungsergebnis haben. Neben der Sensitivität in Bezug auf Kleinstrukturen unterliegen die Datengrundlagen dem Zahn der Zeit und müssen periodisch aktualisiert werden. Die Persistenz wirkt sich daher ebenfalls direkt auf die Stabilität der Resultate aus. Die Auswirkungen auf die Raumplanung und die damit verbundenen Auflagen für potentielle Bauherren können dabei beachtlich sein.

#### Kleinforum

Eine Gefahrengrundlage soll die aktuelle Gefahrensituation «möglichst korrekt» wiedergeben. Heute herrscht aber kein Konsens darüber, was bei Modellierungsergebnissen als «möglichst korrekt» gilt und wie stark ein Modellierungsergebnis bis zum Endprodukt

generalisiert bzw. manuell bearbeitet wird. Um eine breite Diskussion zu diesem Thema zu lancieren, konnte am 6. Februar 2020 mit Unterstützung der FAN ein Kleinforum zu diesem Thema durchgeführt werden. Am Kleinforum nahmen 24 Fachleute aus Forschung, Verwaltung und der Privatwirtschaft teil. Damit konnte ein breiter Querschnitt an Akteuren abgedeckt werden.

#### Zielsetzung

Die nachfolgenden Fragestellungen wurden als Einstiegspunkt für die Diskussionen formuliert:

- Wie «exakt» können und sollen Modellierungen sein?
- Dürfen bei Modellierungen bereits kleine Änderungen bei Eingabedaten oder bei der lokalen Topographie zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen führen? Oder sollen sie eine gewisse „Robustheit“ und Stabilität gegenüber diesen Einflüssen aufweisen?
- Ist eine Generalisierung der Resultate sinnvoll? Wie weit soll diese gehen?
- Welches Gewicht wird der gutachterlichen Beurteilung und Plausibilisierung vor Ort gegeben? Wie gross ist der Anteil «Handarbeit» zwischen Modellierung und effektiver Abgrenzung?
- Was ergeben sich für Konsequenzen für die Raumplanung oder aus Risikosicht, wenn je nach Modellierungsgrundlage ein anderes Gefährdungsbild entsteht?

Um die Meinungen zu diesen Fragen vertieft auszutauschen wurden zwei Diskussionsblöcke in je zwei Gruppen durchgeführt.

## Diskussionsblöcke

### Vom Modellierungsergebnis zum Endprodukt

Soll ein Modellierungsergebnis generalisiert und arrondiert werden? Wenn ja, wie stark? Diese Frage wurde in einem ersten Block in zwei Gruppen anhand eines Beispiels aus dem Kanton St. Gallen diskutiert (Abbildung 1). Schnell war klar, dass DIE Lösung nicht existiert. Resultate aus den beiden Diskussionsrunden sind in Abbildung 2 dargestellt.

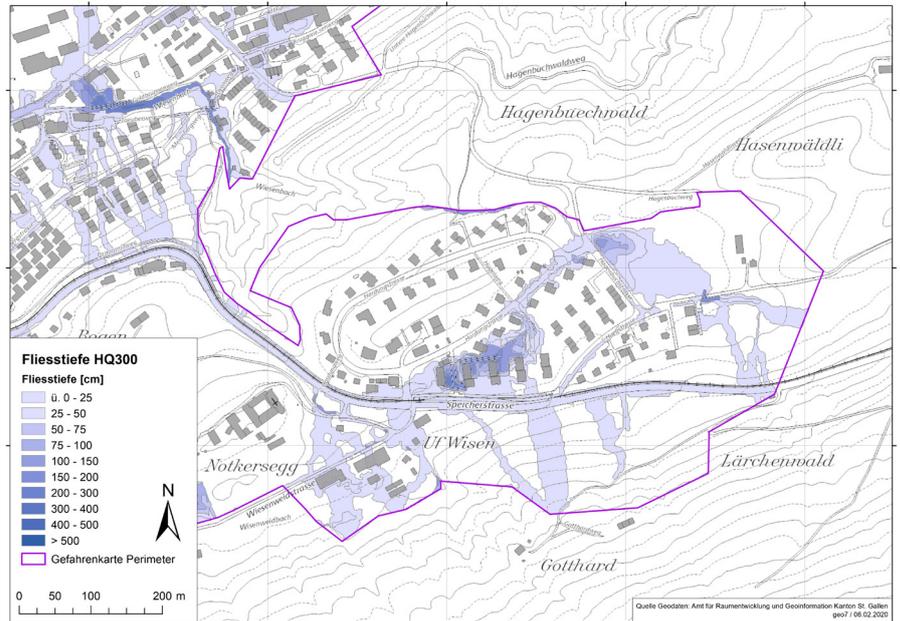


Abbildung 1: Fliesstiefenkarte HQ300, Beispielgebiet aus dem Kt. St. Gallen (Quelle Geodaten: Amt für Raumentwicklung und Geoinformation Kanton St. Gallen).

Die Wahl des für die Aufgabenstellung richtigen Modells ist ein erster wichtiger Schritt. Weiter ist es zentral zu wissen, welche Daten für die Modellierung als Grundlage dienen können und wie diese hinsichtlich Qualität einzustufen sind. Wie genau ist das Terrainmodell? Wie gut stimmen die Hochwasser-Szenarien? Überall sind Unsicherheiten vorhanden. Als konkretes Beispiel werden landwirtschaftlich genutzte Flächen erwähnt, wo der Grasbewuchs ein Terrainmodell problemlos um 20 cm beeinflussen kann (gemäht vs. nicht gemäht). Auch kleinere Erhebungen (z.B. Trottoirränder), welche im DTM kaum erfasst werden, können Fließwege beeinflussen. Aufgrund all der Unsicherheiten in der Modellierung sei es deshalb unumgänglich, Modellierungsergebnisse im Gelände zu validieren und diesen Unsicherheiten beim Abgabeprodukt Rechnung zu tragen. Dabei sollte auch ein Augenmerk auf offensichtlich veränderliche Gebiete (wie z.B. eine Baustelle) gelegt werden.

Da es unter den Kantonen unterschiedliche Anforderungen an die Gefahrenkarten gibt, sollte jeweils auch geklärt werden, wie die Flughöhe der Gefahrenkarte sein soll, was man

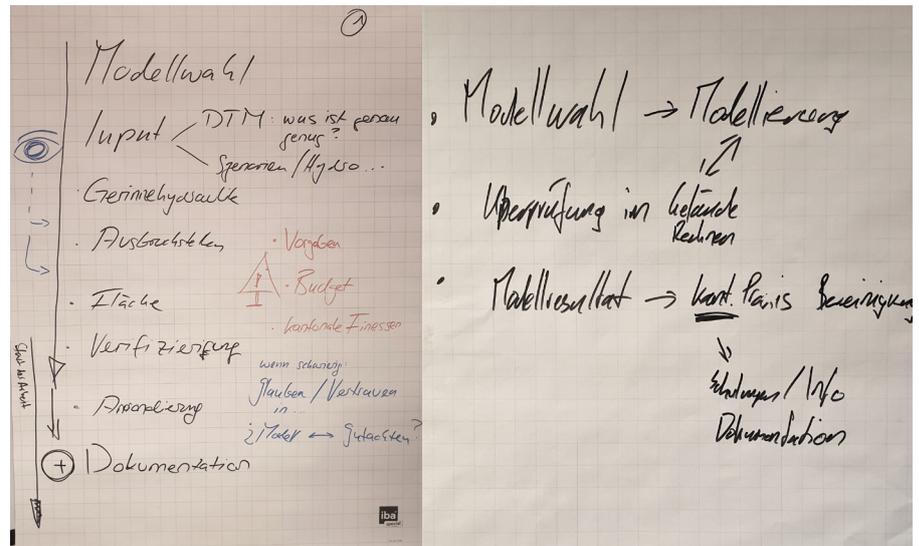


Abbildung 2: Resultate der ersten Diskussionsrunde (Foto: geo7).

mit dieser erreichen will und was für konkrete Auswirkungen sie hat. Einig ist man sich darin, dass eine Gefahrenkarte nicht haustürscharf sein kann/soll, sondern höchstens parzellenscharf. Dies setzt eine gewisse Generalisierung/Arrondierung der Abgrenzungen voraus. Von den meisten Teilnehmern wird eher ein «Aufrunden» als ein «Abrunden» bevorzugt, so liegt man auf der sicheren Seite. Auch müssen sämtliche Schritte und Vorgänge der Gefahrenkartenerstellung gut dokumentiert werden.

Ein erheblicher Einflussfaktor für den Erstellungsprozess ist das Budget. Es liegt auch in der Verantwortung der Auftraggeber, dass gewisse wichtige Schritte wie Feldbegehungen und Dokumentation nicht vernachlässigt werden und dazu die nötigen Mittel zur Verfügung stehen bzw. diese Punkte in der Auftragsvergabe entsprechend berücksichtigt werden. Aber auch die Auftragnehmer müssen genügend Zeit für Geländeüberprüfungen einsetzen. Weiter wird die Stellung der For-

schung diskutiert. Hier wird angemerkt, dass von der Forschung zu diesem Thema wenig «geliefert» wird, obwohl eine grosse gesellschaftliche Relevanz vorhanden ist.

### Akteure im Kontext Gefahrenkarten

Eine Gefahrenkarte dient u.a. als Grundlage für raumplanerische Prozesse, Massnahmen zur Risikoverminderung, Notfallplanung oder die Sensibilisierung der Bevölkerung (PLANAT 2020). Sie übt somit immer auch Einfluss auf verschiedene Akteure aus, deren Sichtweisen und Bedürfnisse teilweise diametral auseinander liegen können.

Anhand des Beispiels von zwei Zeitständen der Gefahrenkarte Wasser der Gemeinde Matten bei Interlaken (Abbildung 3) wurde aus der Sichtweise verschiedener Akteure (Bauverwaltung, bearbeitendes Büro, GrundeigentümerIn, Gebäudeversicherung und kantonale Fachstelle) diskutiert, ob solche Änderungen sinnvoll und notwendig oder allenfalls gar kontraproduktiv sein können (Abbildung 4). Es

gibt Grundstücke, welche von 2007 bis 2019 in einer weissen Gefahrenstufe lagen und sich mit der aktualisierten Gefahrenkarte neu in der blauen Gefahrenstufe wiederfinden – und umgekehrt. Das Spannungsfeld zwischen den vorhandenen Unsicherheiten und dem Willen, ein möglichst korrektes und dem Stand des Wissens entsprechenden Produkts zu erstellen, war beim Diskurs offensichtlich.

Der Konsens lag schlussendlich darin, dass vor allem das bearbeitende Büro hinter den neuen Resultaten stehen und diese auch gegenüber anderen Akteuren vertreten und erklären können muss. Dass neu erstellte Gefahrenkarten nicht mit älteren Versionen übereinstimmen müssen, auch wenn keine neuen Schutzmassnahmen umgesetzt worden sind, erscheint zumindest aus Sicht der Fachleute naheliegend. Die eingesetzten Modelle sowie die Inputdaten ändern und verbessern sich laufend und entsprechen jeweils dem aktuellen Stand des Wissens. Um zu grosse Unterschiede zu vermeiden, welche der Öff-

fentlichkeit schwierig zu vermitteln sind, kann gemäss der Meinung vieler Teilnehmenden eine Generalisierung der Modellierungsergebnisse bei der Umsetzung in Intensitäts- resp. Gefahrenkarten sinnvoll sein. Einige Teilnehmer wünschen sich dazu einheitlichere Anforderungen oder Regelungen von Behörden. Dadurch könnten auch Unterschiede aufgrund der Bearbeitung durch verschiedene Fachbüros mit unterschiedlichen Herangehensweisen etwas abgefedert werden.

### Fazit

Die engagierte Auseinandersetzung mit dem Thema «Umsetzung von Modellierungsergebnissen» zeigte verschiedene Denk- und Sichtweisen, aber auch verschiedene Bedürfnisse an Resultate und Produkte auf. Ein «richtig» oder «falsch» existiert nicht und Sichtweisen und Bedürfnisse können je nach konkretem Anwendungsfall variieren. So erstaunt es wenig, dass auch die plakative Schlussfrage «Wie stark sollen Modellierungsergebnisse bei der Umsetzung in Gefahrenbeurteilungen generalisiert werden?» polarisiert (Abbildung 5). Eine deutliche Mehrheit der Abstimmenden wünscht sich eine moderate bis (sehr) starke Generalisierung der Resultate. Die Meinungen streuen aber beträchtlich.

### Ausblick und Dank

Mit dem Kleinforum wurden wichtige Fragen zum Umgang mit Modellierungsergebnissen diskutiert und verschiedene Meinungen ausgetauscht. Mit diesem Austausch konnten die offenen Fragen noch nicht geklärt, aber ein Startpunkt für wertvolle Überlegungen und weitere Diskussionen gelegt werden. Die Auseinandersetzung und das Verständnis für die Meinungen verschiedener Akteure und die Kenntnis ihrer Bedürfnisse ist zentral, um eigene Vorgehensweisen zu überdenken und gegebenenfalls zu justieren. Für die breite Öffentlichkeit sind Naturgefahren – wenn

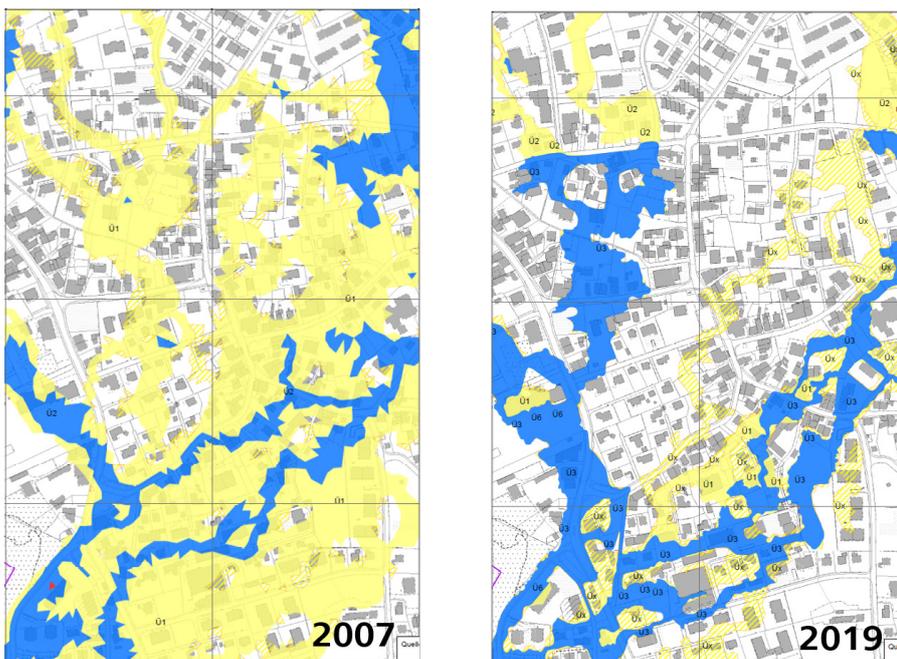


Abbildung 3: Ausschnitt Gefahrenkarte Wasser der Gemeinde Matten bei Interlaken (Gefahrenkarte Böödeli) mit Stand 2007 (links) resp. 2019 (rechts). (Quelle Grundlagendaten: Amt für Geoinformation des Kantons Bern).

überhaupt – ein Thema unter vielen. Eine kohärente und glaubwürdige Aussenwirkung hilft deshalb uns Fachleuten, für «unser» Spezialgebiet eine stabile Basis zu schaffen. Naturgefahren gehen alle an.

Das Organisationskomitee von geo7 dankt allen Teilnehmenden für den spannenden Austausch und das engagierte Mitmachen. Ohne ihr Interesse am Thema wäre das Kleinforum nicht durchführbar gewesen. Ein weiteres grosses Merci gebührt der FAN, welche diesen Anlass finanziell und mit persönlichem Engagement grosszügig unterstützt hat. Wir würden uns freuen, wenn die begonnenen Diskussionen weitergeführt und vielleicht sogar im Rahmen eines zweiten Kleinforums weiter vertieft werden können. Anregungen zur Weiterführung der Thematik werden deshalb durch das Autorenteam gerne entgegengenommen. Wie auch das abschliessende Apéro gezeigt hat – es gibt noch viel zu bereden (Abbildung 6)!

**Literatur**

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT) (2020): <http://www.planat.ch/de/hauseigentuer/emer/gefahrenkarte/> (Zugriff am 29.10.2020)



Abbildung 4: Diskussionsrunde «Sichtweise verschiedener Akteure» (Foto: geo7).

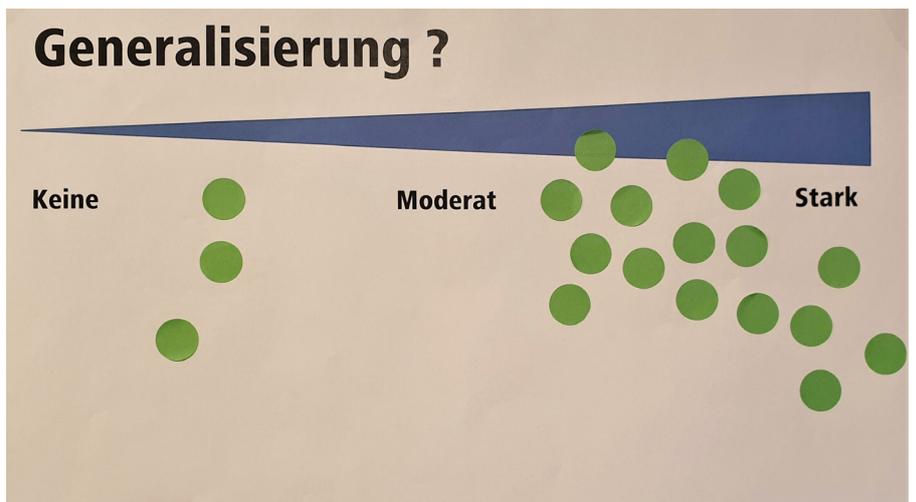


Abbildung 5: Abstimmungsresultat zur Frage «Wie stark sollen Modellierungsergebnisse bei der Umsetzung in Gefahrenbeurteilungen generalisiert werden?» (Foto: geo7).



Abbildung 6: Vertiefte Gespräche während des abschliessenden Apéros (Foto: geo7).

# Recommandations pour l'évaluation des dangers d'érosion des berges des cours d'eau

FAN (Spécialistes des dangers naturels)  
CIPC (Commission pour la protection contre les crues)

## Zusammenfassung

Die Fachleute Naturgefahren Schweiz (FAN) und die Kommission für Hochwasserschutz, Wasserbau und Gewässerpflege (KOHS) haben eine Empfehlung zur Beurteilung der Gefahr von Ufererosion an Fließgewässern erarbeitet.

Die Empfehlung beschreibt ein Vorgehen zur Beurteilung der Gefahr von Ufererosion mit den Bearbeitungsschritten Grundszenarien, Schwachstellenanalyse und Wirkungsanalyse. Im Rahmen der Schwachstellenanalyse werden aufgrund der Morphologie und der bekannten Erosionsstellen die massgebenden Gefährdungsbilder identifiziert. Für jedes Gefährdungsbild werden die Belastungsgrößen auf das Ufer und der Erosionswiderstand des Ufers qualitativ oder quantitativ bestimmt. Ist nach dem Fazit der Schwachstellenanalyse für einen Gewässerabschnitt Ufererosion anzunehmen, werden in der Wirkungsanalyse deren Ausmass und räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit festgelegt. Anschliessend werden mögliche Folgeprozesse beurteilt.

Die hier beschriebene Empfehlung zur Beurteilung der Gefahr von Ufererosion an Fließgewässern kann in elektronischer Form und in deutscher oder französischer Sprache auf den Internetseiten der FAN ([www.fan-info.ch](http://www.fan-info.ch)) und des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes ([www.swv.ch](http://www.swv.ch)) bezogen werden.

## Résumé

Les Spécialistes des dangers naturels (FAN) et la Commission pour la protection contre les crues (CIPC) ont élaboré des recommanda-

tions pour l'évaluation des dangers d'érosion des berges des cours d'eau.

Les recommandations décrivent une procédure avec les étapes : élaboration des scénarios de base, analyse des points faibles et analyse des effets. Dans le cadre de l'analyse des points faibles, différents cas de charge sont identifiés en fonction de la morphologie et des endroits d'érosion connus. Pour chaque cas de charge, les grandeurs de la charge et la résistance de la berge sont définies de manière qualitative ou quantitative. Si la comparaison des deux grandeurs montre qu'une érosion latérale est probable, on définit l'étendue de l'érosion et sa probabilité d'occurrence spatiale. Les possibles processus consécutifs sont analysés par la suite.

Les recommandations peuvent être téléchargées en langue allemande ou française sur les sites Internet de FAN ([www.fan-info.ch](http://www.fan-info.ch)) et de l'Association suisse pour l'aménagement des eaux ([www.swv.ch](http://www.swv.ch)).

## Introduction

L'érosion des berges est un processus de danger de peu d'importance en termes de superficie. Son potentiel de danger a cependant été sous-estimé jusqu'à présent. C'est ce qu'a montré notamment l'événement de crue de 2005 en Suisse, où l'arrachement des berges a endommagé voire détruit nombre de bâtiments et d'infrastructures. L'évaluation des dangers d'érosion claire et compréhensible en quantité comme en qualité est une base importante pour la protection des zones bâties et des voies de communication

contre l'érosion des berges. Pour évaluer le processus d'érosion des berges, il n'existe aujourd'hui aucune méthode ni base de calcul généralement reconnues.

C'est pour combler cette lacune que les Spécialistes des dangers naturels (FAN) et la Commission pour la protection contre les crues (CIPC) ont mandaté l'élaboration des présentes recommandations. Elles doivent servir de guide pour collecter les données de base sur les dangers et contribuer à uniformiser les évaluations des dangers d'érosion des berges, afin de mieux les comprendre et les comparer. Elles sont destinées aux experts en aménagements des cours d'eaux et des dangers naturels issus aussi bien de la pratique que de l'administration et s'appuient sur les Recommandations fédérales (Loat et Petrascheck 1997). Elles proposent des méthodes qui permettront d'évaluer les dangers d'érosion des berges. Par contre, le choix d'une approche quantitative appropriée pour déterminer l'ampleur de l'érosion des berges est laissé à la libre appréciation des utilisateurs.

Le présent article résume les recommandations (FAN et CIPC 2020) publiées en allemand en 2015. Les recommandations complètes incluant des exemples d'applications peuvent être téléchargées en langue allemande ou française sur les sites Internet de FAN ([www.fan-info.ch](http://www.fan-info.ch)) et de l'Association suisse pour l'aménagement des eaux ([www.swv.ch](http://www.swv.ch)). Le présent article a été publié dans la revue «Eau Energie Air» (112e édition, 2020, revue 1.)



Figure 1: Erosion des berges de la Trueb pendant les crues de 2005. Photo: Flussbau AG SAH.

### Procédure générale

Les recommandations proposent une démarche pour trois niveaux de détail de l'étude : pour le niveau des indications de dangers, le niveau d'une carte des dangers et le niveau d'une expertise au cas par cas (voir Figure 2). Les méthodes quantitatives ainsi que le temps investi pour la récolte des données de base et l'évaluation des dangers augmentent avec le niveau de détail de l'étude.

Dans ce résumé uniquement le niveau de détail « carte des dangers » est présenté. Les autres niveaux de détail sont décrits en détail dans les recommandations (FAN et CIPC 2020). En plus, la procédure y est illustrée à l'aide de deux exemples.

La procédure générale d'évaluation des dangers d'érosion des berges s'appuie sur la pratique de l'évaluation des dangers en Suisse et se divise en trois phases : scénarios de base, analyse des points faibles et analyse des effets (Figure 3). L'analyse des points faibles consiste à définir les cas de charge déterminants à partir de la morphologie des cours d'eau et à évaluer les sollicitations et la résistance des berges. L'analyse des endroits d'érosion connus fournit des indications essentielles sur les processus d'érosion possibles. L'analyse des points faibles et l'analyse des effets sont menées séparément pour chaque scénario de base. Si l'analyse des points faibles permet de déceler le danger d'érosion latérale sur un tronçon de cours d'eau, l'ampleur de l'érosion potentielle et sa probabilité d'occurrence

spatiale sont déterminées dans le cadre de l'analyse des effets. Il faut enfin clarifier si l'érosion latérale peut elle-même déclencher d'autres processus.

### Scénarios de base

La définition des scénarios de base visant à évaluer le danger d'érosion des berges ne diffère pas de la définition des scénarios de base utilisés pour évaluer d'autres dangers liés aux eaux. Il s'agit de déterminer le débit Q, le charriage G et l'apport en bois H pour des scénarios de crue avec différents temps de retour.



Figure 2: Niveaux de détail de l'étude en fonction du type d'expertise des dangers.

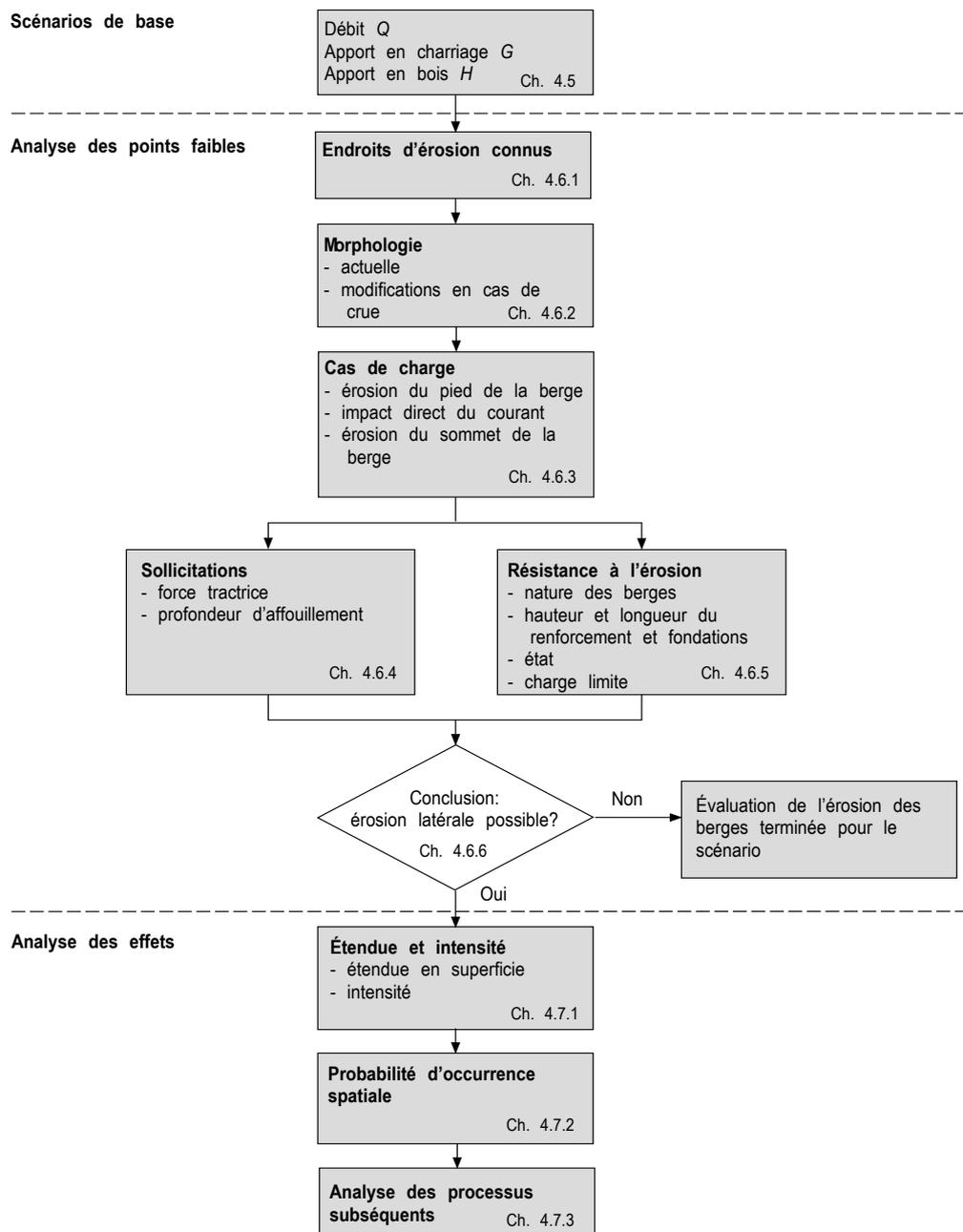


Figure 3: Procédure générale d'évaluation des dangers d'érosion des berges.

## Analyse des points faibles

### Endroits d'érosion connus

L'étude des endroits d'érosion connus sur les cours d'eau à examiner est essentielle pour évaluer le danger d'érosion des berges. Elle livre des indications sur les zones où l'érosion est possible et sur l'ampleur qu'elle peut prendre, mais elle ne donne pas une image

définitive des endroits d'érosion potentiels. Il existe des sources d'information suivantes : le cadastre des événements, les cartes des phénomènes, les photos aériennes et les modèles de terrain, les anciens projets d'aménagement, les visites des lieux ou les observateurs locaux.

### Morphologie

La morphologie du cours d'eau et les processus qui se déroulent dans le chenal (écoulement, exhaussement, érosion du lit, érosion latérale) sont en interaction permanente. Ainsi, des crues importantes peuvent déclencher des processus morphologiques d'échelle supérieure qui vont modifier fondamentalement la morphologie et déplacer le chenal.

L'évaluation des dangers d'érosion des berges contient la description du style fluvial (ramifié, méandres, rectiligne) et son changement potentiel lors d'une crue. Le charriage ainsi que les modifications de niveau du fond du lit (érosion ou exhaussement) sont importants. Dans un chenal où le fond du lit est érodé, le renforcement des berges peut être affouillé à sa base. Dans un chenal avec dépôt de sédiments en revanche, le renforcement des berges peut être remblayé et donc perdre son effet.

L'évaluation du tracé (rectiligne, courbe) donne une indication sur l'apparition des érosions : Dans les courbures, l'érosion se produit de préférence sur la berge concave située à l'extérieur tandis que dans les tronçons rectilignes l'érosion latérale est possible sur les deux rives. Les irrégularités du chenal (chutes, autres ouvrages) peuvent provoquer des courants secondaires. Elles doivent être considérées comme causes possibles d'érosion latérale ou d'érosion du lit.

**Cas de charge**

Les processus décrits ci-après peuvent déclencher une érosion latérale et sont donc désignés comme cas de charge. Ils peuvent survenir isolément ou de manière combinée. Il est souvent difficile de les différencier les uns des autres.

**Erosion du pied de la berge**

Érosion du fond du lit, affouillement ou érosion du pied déstabilisent la berge au point de provoquer son glissement (Figure 4). L'érosion du fond du lit peut survenir à grande échelle ou très localement. Les affouillements peuvent apparaître lors d'une irrégularité du chenal et comme un processus secondaire lorsque p. ex. la section d'écoulement est rétrécie par un mur de rive effondré ou par un arbre tombé.

**Impact direct du courant**

L'impact direct du courant a pour effet d'arracher les matériaux de la berge. Cela peut se produire sur toute la hauteur de la berge (Figure 5 à gauche) ou seulement sur une partie supérieure non aménagée (Figure 5 à droite). L'impact direct du courant frappe le plus souvent sur la partie extérieure des courbures. Il peut néanmoins, comme dans le cas de l'affouillement, résulter d'obstacles dans le cours d'eau.

Les modifications du niveau du fond du lit du cours d'eau pendant un épisode de crue ont pour résultat que le point d'impact se déplace vers le haut ou vers le bas.

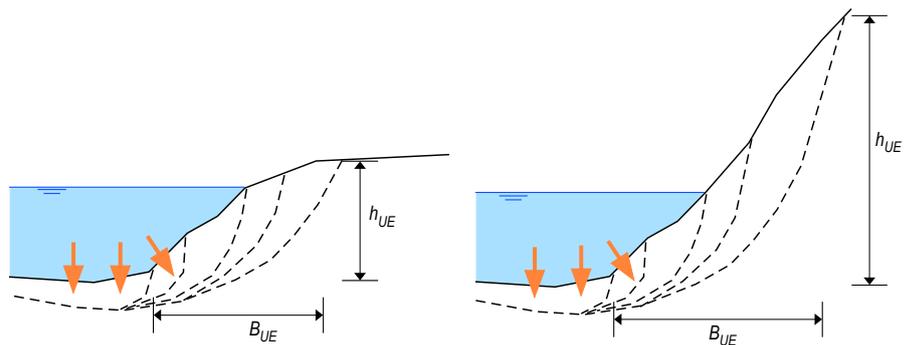


Figure 4: Érosion du lit, affouillement ou érosion du pied déstabilisent la berge (à gauche berge basse, à droite berge élevée). Unités voir Figure 7.

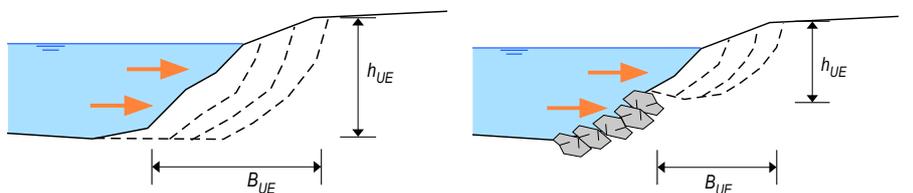


Figure 5: Érosion latérale par impact direct du courant.

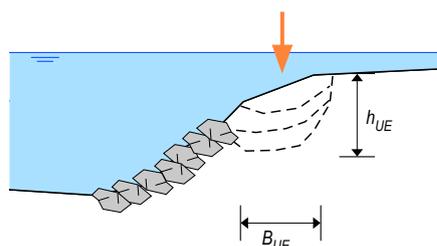


Figure 6: Erosion au sommet de la berge.

**Erosion du sommet de la berge**

La submersion du sommet de la berge ou le contournement du renforcement de la berge érodent le sommet de la berge (Figure 6). Ce processus d'érosion est lié à l'eau qui déborde du chenal et dépend entre autres facteurs du niveau du fond du lit pendant la crue. Le reflux de l'eau peut aussi conduire à une érosion du sommet de la berge.

**Sollicitations**

Les sollicitations sont estimées pour les cas de charge identifiés comme déterminants dans l'étape précédente (Tableau 1). Il est souvent nécessaire de procéder à une expertise qualitative, ce qui est généralement suffisant

pour l'établissement des cartes de dangers. Dans les cas plus complexes, les sollicitations doivent être calculées afin de satisfaire les exigences des cartes des dangers. Dans les tableaux suivants, tout d'abord la démarche qualitative est décrite. Ensuite, une évaluation approfondie présente une démarche quantitative.

### Résistance à l'érosion

La résistance de la berge à la charge attendue est calculée pour les cas de charge désignés comme déterminants. Il s'agit de relever la nature et l'état de la berge et du terrain alentour (Tableau 2).

### Conclusions de l'analyse des points faibles

En conclusion de cette analyse, les connaissances acquises au cours des étapes précédentes permettent de décider s'il faut supposer ou non l'érosion de la berge dans une zone donnée du cours d'eau. Il s'agit de considérer les cas de charge possibles pour chaque scénario de base et de comparer chaque sollicitation de la berge avec sa résistance (Tableau 3). Si la sollicitation est supérieure à la résistance, il faut généralement admettre l'érosion des berges.

## Analyse des effets

### Etendue et intensité

Si l'analyse des points faibles conclut que la berge est menacée par l'érosion, il faut déterminer l'ampleur de cette érosion. L'ampleur de l'érosion se mesure avec la largeur de l'érosion  $B_{UE}$ , sa hauteur  $h_{UE}$  et sa longueur  $L_{UE}$  (Figure 7). Les indications sur l'ampleur de l'érosion sont obtenues p. ex. avec les études de l'érosion due aux événements de crue passés (Hunzinger et Durrer 2008, Bachmann 2012, Krapesch et al. 2011) qui ont chiffré les longueurs et les largeurs d'érosion types.

### Largeur et longueur d'érosion

Les études mentionnées ci-dessus permettent de déduire que la largeur des érosions latérales dues à des processus morphologiques d'échelle supérieure est nettement plus importante que la largeur des érosions dues à des phénomènes locaux (obstacles, irrégularités).

Tableau 1: Procédure d'évaluation de la charge sur la berge.

<b>Erosion du pied de la berge</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluation d'experts de l'ampleur de l'érosion du fond du lit et de la profondeur des affouillements.</li> <li>- Faire particulièrement attention à la profondeur des affouillements en cas d'irrégularités.</li> </ul> <p><i>Evaluation approfondie:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer l'érosion du fond du lit avec un calcul de charriage.</li> <li>- Calculer la profondeur des affouillements.</li> </ul>
<b>Impact direct du courant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Évaluation d'experts de la sollicitation.</li> <li>- Faire particulièrement attention aux pointes de charge dus aux irrégularités.</li> </ul> <p><i>Evaluation approfondie:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Calculer la force tractrice sur la berge.</li> <li>- Évaluer les pointes de charge en cas d'irrégularités.</li> </ul>
<b>Erosion du sommet de la berge</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluation d'experts en fonction de l'inondation.</li> </ul> <p><i>Evaluation approfondie:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Calculer la force tractrice sur le terrain.</li> </ul>

Tableau 2: Procédure d'évaluation de la résistance de la berge.

<b>Erosion du pied de la berge</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer sur place la nature, l'état et la durabilité du pied de la berge (roche, type d'aménagement, taille des blocs, granulométrie, pente, etc.).</li> <li>- Estimer de visu sur place la profondeur des fondations.</li> <li>- Décrire en termes de qualité la résistance du pied de la berge.</li> </ul> <p><i>Evaluation approfondie (ajouter aux relevés précédents):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer la profondeur des fondations à partir des plans du projet.</li> <li>- Calculer la force tractrice critique du pied de la berge.</li> </ul>
<b>Impact direct du courant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer sur place la nature, l'état et la durabilité de la berge (roche, type d'aménagement, taille des blocs, granulométrie, pente, etc.).</li> <li>- Décrire en termes de qualité la résistance de la berge à l'impact direct du courant.</li> </ul> <p><i>Evaluation approfondie (ajouter aux relevés précédents):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- calculer la force tractrice critique de la berge.</li> </ul>
<b>Erosion du sommet de la berge</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer sur place la nature, l'état et la durabilité du terrain au sommet de la berge (roche, granulométrie, pente, etc.).</li> <li>- Décrire en termes de qualité la résistance du terrain à l'impact du courant.</li> </ul> <p><i>Evaluation approfondie (ajouter aux relevés précédents):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- calculer la force tractrice critique pour le terrain au-dessus de la berge.</li> </ul>

Tableau 3: Procédure de conclusion de l'analyse des points faibles.

<b>Erosion du pied de la berge</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si la berge n'est pas renforcée, on suppose toujours une érosion de la berge en cas d'érosion du fond du lit ou d'affouillement.</li> <li>- Si la berge est renforcée, on suppose une érosion de la berge lorsque l'érosion du fond du lit ou l'affouillement arrivent sous les fondations de l'aménagement de la berge.</li> </ul>
<b>Impact direct du courant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Toujours supposer une érosion en cas de berges non renforcées constituées de matériaux meubles.</li> <li>- On suppose une érosion de la berge si les conditions selon Protect (niveau évaluation sommaire) ne sont pas remplies.</li> </ul> <p><i>Evaluation approfondie:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- On suppose une érosion de la berge lorsque la force tractrice sur la berge est plus grande que la force tractrice critique.</li> </ul>
<b>Erosion du sommet de la berge</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faire une expertise en fonction de l'inondation (p.ex. en fonction de l'intensité de l'inondation).</li> </ul> <p><i>Evaluation approfondie:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- On suppose une érosion du sommet de la berge lorsque la force tractrice sur le terrain est plus grande que sa force tractrice critique.</li> </ul>

La longueur d'érosion peut être délimitée utilement là où une érosion latérale peut être clairement localisée, c'est-à-dire lorsqu'elle est causée par un obstacle ou qu'elle se produit dans une courbure. Sur les tronçons rectilignes ou sur les tronçons avec ramifications, c'est parfois la berge sur toute sa longueur qui est menacée d'érosion, même si, pendant un événement, la berge n'est pas érodée sur toute sa longueur.

**Intensité**

L'intensité de l'érosion de la berge se mesure à la hauteur de l'érosion  $h_{UE}$ . Cette mesure se fait perpendiculairement à partir du sommet de la berge jusqu'au lit de l'endroit d'érosion (Figure 7). Les classes d'intensité utilisées sont celles définies dans les Recommandations fédérales de 1997 (Loat et Petrascheck 1997) (Tableau 4). La classe d'intensité reste la même sur toute la largeur d'érosion.

**Probabilité d'occurrence spatiale ( $p_{RA}$ )**

La considération des risques attribue une probabilité d'occurrence spatiale  $p_{RA}$  au processus d'érosion des berges. Cette probabilité dépend du style fluvial et du tracé.

La probabilité d'occurrence spatiale est élevée sur les berges concaves. Si le danger d'érosion est attendu sur les deux rives d'un cours d'eau, p. ex. chenal ramifié, la probabilité d'occurrence spatiale est moindre. Le Tableau 5 donne une indication des valeurs possibles avec lesquelles cette probabilité peut être chiffrée. Les valeurs doivent être fixées et justifiées au cas par cas. Si l'emplacement de l'endroit d'érosion probable est évident, c'est la valeur à la limite supérieure qui sera choisie. S'il n'y a aucun indice de l'endroit où l'érosion est la plus probable, c'est une valeur inférieure qui sera choisie pour la probabilité d'occurrence spatiale.

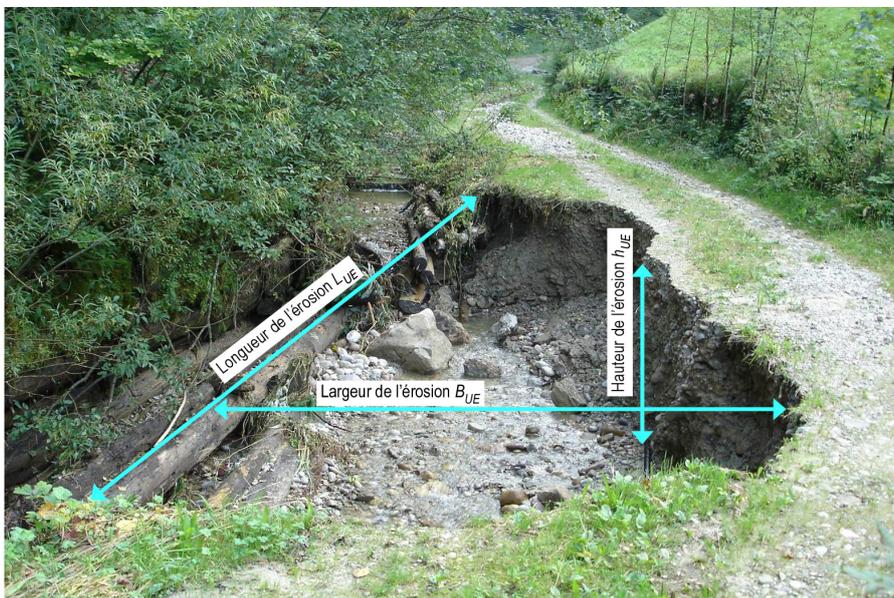


Figure 7: Mesures de l'ampleur de l'érosion. Photo: OFOR 2005.

Lors des processus morphologique la largeur d'érosion peut être déterminée à l'aide de cartes historiques et de calculs morphologique. Dans les chenaux rectilignes la largeur d'érosion peut être évaluée à partir de la largeur limite. La largeur limite est atteinte lorsque la force tractrice sur la berge est in-

férieure à la valeur minimale nécessaire pour amorcer le mouvement des matériaux de la berge. Si la force tractrice n'est pas calculée, l'ampleur des érosions peut parfois être déduite à partir de l'observation des événements antérieurs.

## Processus subséquents

L'érosion latérale dans un cours d'eau peut déclencher d'autres processus:

- Des matières solides sont mobilisées (charriage, arbres et arbustes, objets déposés sur la berge), qui sont ensuite transportés vers l'aval où ils déclenchent de nouveaux processus de dangers dus aux dépôts ou aux embâcles
- L'érosion du pied d'une berge haute déclenche un glissement de la pente ou accélère un glissement en cours.
- Dans le chenal élargi par l'érosion latérale, la capacité de transport diminue et le charriage et le bois flottant s'accumulent dans le lit.

L'évaluation des dangers doit étudier la possibilité de ces processus subséquents et leurs effets. Selon les circonstances, la personne en charge de l'évaluation doit faire appel aux spécialistes des autres disciplines.

## Application et perspective

Les recommandations dans cet article décrivent une procédure qui permet d'évaluer le danger du processus d'érosion des berges de fleuves et de ruisseaux, quelle que soit leur taille ou leur pente. Par contre, les approches empiriques proposées pour quantifier les sollicitations sont généralement conçues pour des cours d'eau de pente moyenne et de charriage de type fluvial et ne peuvent pas toujours être transposées à des torrents abrupts à laves torrentielles.

Les recommandations soulèvent la problématique des incertitudes dans l'évaluation. Il peut exister des incertitudes en déterminant les sollicitations dans les profils en travers irréguliers ou en estimant la profondeur des fondations d'un vieil ouvrage. Afin de maintenir les incertitudes à un faible niveau, il faut souvent

Tableau 4: Niveaux d'intensité de l'érosion des berges

Intensité	Hauteur de l'érosion ( $h_{UE}$ )
Faible	$h_{UE} < 0.5$ m
Moyenne	$0.5 \text{ m} < h_{UE} < 2$ m
Forte	$h_{UE} > 2$ m

Tableau 5: Valeurs possibles de probabilité d'occurrence spatiale  $p_{RA}$  d'érosion des berges

Style fluvial et tracé	$p_{RA}$
Berge concave	0.50 - 1.00
Chenal rectiligne	0.10 - 0.50
Berge concave dans un méandre	0.50 - 1.00
Ramification	0.25 - 0.75

consacrer beaucoup d'efforts à la collecte de données de base. Un moyen de déceler les incertitudes qui entachent une évaluation, et de peut-être les réduire, est l'application de différentes méthodes et de comparer les résultats. Il faut toutefois veiller à garder un certain équilibre entre le travail supplémentaire nécessaire et l'amélioration de la pertinence.

## Bibliographie

Bachmann A. 2012. Ausmass und Auftreten von Seitenerosionen bei Hochwasserereignissen. Geographisches Institut der Universität Bern, Bern.

FAN et KOHS. 2020. Recommandations pour l'évaluation des dangers d'érosion des berges des cours d'eau. [www.fan-info.ch](http://www.fan-info.ch) et [www.swv.ch](http://www.swv.ch).

Hunzinger L. et Durrer S.: Seitenerosion. in Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.) 2008. Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0825: 429 S.

Krapesch G., Hauer C. et Habersack H. 2011. Scale orientated analysis of river width changes due to extreme flood hazards. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11, 2137-2147.

Loat R. et Petrascheck A. 1997. Recommandation 1997. Prise en compte des dangers dus aux crues dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire. Office fédéral de l'économie des eaux (OFEE), Office fédéral de l'aménagement du territoire (OFAT), Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP).

Romang Hans (Ed.) 2008: Effet des mesures de protection. Plateforme nationale « Dangers naturels » PLANAT, Bern. 289 p.

## Auteurs

Membres du groupe de travail érosion des berges des experts en dangers naturels Suisse (FAN) et de la commission pour la protection contre les crues (CIPC) : Lukas Hunzinger, Annette Bachmann, Ralph Brändle, Paul Dändliker, David Jud et Mario Kokschi.

## Remerciements

Le groupe de travail remercie toutes les personnes qui ont collaboré à cet ouvrage par leurs contributions et l'Office fédéral de l'environnement pour le financement du projet.

# Angewandte 3D-Murgang- und Hangmurensimulationen berücksichtigen die Materialzusammensetzung – Chancen für die Berechnung von Ereignissen im Klimawandel?

Albrecht v. Boetticher<sup>1</sup> ([albrecht.vonBoetticher@wasserbau.ch](mailto:albrecht.vonBoetticher@wasserbau.ch))

<sup>1</sup> Staubli, Kurath & Partner AG, Zürich

## Résumé

Dans les laves torrentielles, la teneur en eau et les fines déterminent les mécanismes de liquéfaction lorsque la vitesse d'écoulement augmente. En revanche, le frottement dépendant de la pression entre les grains des matériaux charriés réagit à la profondeur d'écoulement, aux pressions d'impact et aux déviations. Le logiciel gratuit debrisInterMixing contient deux phases qui se mélangent. D'une part, la rhéologie de la suspension de sable, de limon et d'argile dépendant de la vitesse de cisaillement et, d'autre part, le comportement de l'écoulement du mélange de gravier dépendant de la pression. Grâce à la puissance de calcul généralement disponible dans les bureaux d'ingénieurs, les effets des laves torrentielles et des coulées de boue en fonction des matériaux peuvent ainsi être simulés en 3D. L'article présente les applications actuelles en Suisse. Les paramètres du modèle de debrisInterMixing, qui dépendent des matériaux, ont le potentiel de prendre en compte les influences climatiques dans les simulations.

## Zusammenfassung

In Murgängen bestimmen Wassergehalt und Feinanteil die Verflüssigungsmechanismen bei zunehmenden Fließgeschwindigkeiten. Die druckabhängige Reibung zwischen den Körnern im Grobgeschiebe hingegen reagiert auf Abflusstiefe, Anpralldrücke und Umlenkungen. Die frei erhältliche Software debrisInterMixing

enthält zwei sich mischende Phasen, für die scherratenabhängige Rheologie der Sand-/Silt-/Tonsuspension einerseits und für das druckabhängige Fließverhalten der Kiesmischung andererseits. Mit der in Ingenieurbüros üblichen Rechenleistung kann damit die materialabhängige Einwirkung von Murgängen und Hangmuren in 3D simuliert werden. Der Artikel zeigt aktuelle Anwendungen in der Schweiz. Die Materialabhängigkeit der Modellparameter in debrisInterMixing birgt das Potential, Klimaeinflüsse in den Simulationen zu berücksichtigen.

## Einleitung

Das Fließverhalten von Murgängen ist stark vom Wassergehalt und der Zusammensetzung aus Feinmaterial und Grobgeschiebe abhängig [1][2]. Wassergehalt und Feinanteil bestimmen die Verflüssigungsmechanismen bei zunehmenden Fließgeschwindigkeiten und Scherraten, wogegen das Grobgeschiebe mit der druckabhängigen Reibung zwischen den Körnern sensitiv auf Abflusstiefe, Anpralldrücke und Umlenkungen reagiert. So sollte es nicht überraschen, wenn Murgangfließprozesse über die Materialzusammensetzung sensitiv auf Klimaänderungen sowie Rutsch- und Sturzereignisse reagieren. Deutlicher wird auch die Bedeutung der lokalen Gerinnegeometrie durch die Rückkopplung der Rheologie mit der Fließgeschwindigkeit und Abflusstiefe.

Wie in der FAN-Agenda 1/2020 deutlich wurde, stellt die Klimaveränderung herkömmlich bewährte Lösungsansätze im Umgang mit Naturgefahren vor Herausforderungen. Bei Murgangprozessen wurden bisher Wissenslücken über das komplexe Fließverhalten durch den Abgleich mit historischen Ereignissen kompensiert. Aber wie verlässlich sind Erfahrungswerte in Zukunft? Das Klima bestimmt nebst dem reinen Wasseranfall auch die geomorphologischen Prozesse im Einzugsgebiet und damit die Kornzusammensetzungen im Lockermaterial. Ein verändertes Gleichgewicht zwischen dem Eintrag aus dem Einzugsgebiet, dem Beitrag aus Rutschprozessen der Gerinneflanken und dem Geschiebetransport bei Hochwassern kann sowohl die Verfügbarkeit als auch die Zusammensetzung des Materials verändern, aus dem Murgänge entstehen.

Die heutigen Möglichkeiten zur Erkundung der Erosionsflächen und des verfügbaren Lockermaterials sind einen grossen Schritt weitergekommen. Beispielsweise wurde auf die komplett veränderte Ausgangslage der Murgangbildung bei der Ereignisbewältigung in Bondo (GR) mit Befliegungen und Rapid Mapping (zeitnahe Erfassung, Aufbereitung und Zurverfügungstellung von Geodaten) reagiert. Im Jahr 2017 wurden fünf Befliegungen des Kegelbereichs durchgeführt und aus den Aufnahmen digitale Geländemodelle erstellt, die unmittelbar in Modellierungen und

Beurteilung des neuen Gefahrenpotentials einflussen. Nachfolgend zeigen wir Beispiele, bei denen die Erhebungen zur Materialzusammensetzung, Kubatur und Geländebeschaffenheit direkt in heutigen 3D-Modellierungen berücksichtigt werden, um das Fließverhalten unter Berücksichtigung der vorgenannten Abhängigkeiten zu beurteilen. Die hierfür verwendete Software debrisInterMixing (DIM) [6] [7] (an der WSL und ETH entwickelt und frei verfügbar) enthält nebst einer getrennten Luftphase zwei sich mischende Phasen, für die scherratenabhängige Rheologie der Sand-/Silt-/Tonsuspension einerseits und für das druckabhängige Fließverhalten der Kiesmischung andererseits.

Der vorliegende Artikel zeigt, wie mit in Ingenieurbüros üblicher Standardausrüstung die Hangmuren- und Murgangeinwirkung gestützt auf die Materialzusammensetzung in 3D simuliert wird, womit auch die Auswirkung topographischer und klimatischer Änderungen erfasst werden.

## Methodik

Durch die Bindung der Modellparameter an die Kenngrößen einer Materialprobe kann debrisInterMixing mit nur einem freien Kalibrierparameter verwendet werden. Ausgehend von einem geologischen Fachgutachten werden Bodenproben entnommen, die das zu erwartende Material für die Simulation charakterisieren. Probenentnahmen sollten bei Hangmuren aus verschiedenen Entnahmetiefen bis 2 m im Anrissbereich stammen. Bei Murgängen sind für Einwirkungsabschätzungen Ablagerungen früherer Ereignisse im Untersuchungsperimeter aussagekräftiger, da sich ein Teil der Korngrössensortierung vom Fließprozess darin wiederfindet. Die erforderliche Anzahl der Proben hängt vom Detaillierungsgrad der Untersuchung ab. Die Eingabeparameter erfordern die Dichte der Materialmischung, die

volumetrische Feststoffkonzentration und deren Tonanteil (allenfalls mit einem Vergrößerungsfaktor in Abhängigkeit von der Tonminerologie). Für die Rheologie der Kiesanteile ist ein Reibungswinkel oder in grober Näherung ein Schüttwinkel erforderlich, und für die korrekte Aufteilung in Kiesphase und Suspension der Kiesanteil, z.B. basierend auf dem Anteil einer Siebkurve mit  $d > 2$  mm.

Das Simulationsgitter wird anhand der Gelände- und Gerinnegeometrie samt Schutzbauten aus einer Oberflächendatei im STL-Format (Stereolithografie) generiert. Bei Hangmuren sollte zudem der Auslösekörper ebenfalls im STL-Format gegeben sein, es können aber auch einfache Auslösekörper in debrisInterMixing definiert werden. Murgänge erfordern hingegen einen festgelegten Zuflussquerschnitt mit aus dem Fachgutachten abgeleiteten Fließhöhen und Fließgeschwindigkeiten.

In einem ersten Durchlauf wird der freie Modellparameter an die Gitterauflösung angepasst und kalibriert. Dafür eignen sich gutachterliche Aussagen bekannter Ereignisse zur Fliesstiefe- und Fließgeschwindigkeit, zur Auslaufdistanz oder zur Kurvenüberhöhung. In diesem Schritt sollte die Simulation auch anhand von Erfahrungswerten überprüft werden, wie sie beispielsweise in [3] enthalten sind. Fehlen entsprechende Anhaltspunkte, kann ein Gelände- oder Gerinneabschnitt mit Ähnlichkeiten zu einer bekannten Hangmuren- bzw. Murgangssituation herangezogen werden, um den gitterabhängigen Modellparameter anhand dieser zu kalibrieren.

In einem zweiten Durchlauf wird das Gitter an mangelhaften Stellen verfeinert und die Simulation wiederholt, die Ergebnisse ausgewertet, plausibilisiert und interpretiert.

## Simulationen für Bondo

Im Projektwettbewerb «Bondo - Neugestaltung Verbauungen Bondasca und Mera und neue Verkehrsanlagen» im Herbst 2019 hatte ein Team anhand der dreidimensionalen Murgangmodellierung die Verbauungen am Rückhalteraum der Bondasca entwickelt und einen weiteren Rückhalteraum am Zusammenfluss zwischen Bondasca und Mera entworfen. Die Herangehensweise setzte den Fokus gezielt auf das Zusammenspiel aus Kornzusammensetzung, Fließverhalten und Gerinnegeometrie, um die Gefährdung der Brückenverklausung an der Kantonsstrasse zu minimieren. So wurde der bestehende Rückhalteraum oberhalb der Bondascabrücke mit einem Fangdamm ausgestattet, der vor allem die Grobblecke der Murgangfront abfangen sollte, bevor der Murgang unter der Bondascabrücke hindurch zur Mera weitergeleitet wird. Unter der Bondascabrücke wäre ab einer für die Unterlieger gefährlichen Ereignisgrösse Murgangmaterial über ein Streichwehr in ein zweites Rückhaltebecken geflossen und hätte aus diesem Wasser verdrängt. Dieses vom Streichwehrüberfall im zweiten Rückhalteraum verdrängte Wasser wäre kontinuierlich in den Mündungsbereich der Bondasca geströmt, um die Murgangfront hier zu verflüssigen und einen Rückstau bis unter die Brücke zu vermeiden.

Eine erste 3D-Modellierung mit debrisInterMixing diente der Bestimmung des Murgangausmasses, welches die Mera mit  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  Wasserführung [1] entsprechend dem üblichen Murgangspülbetrieb des Elektrizitätswerks der Stadt Zürich (ewz) aufnehmen kann, ohne im angrenzenden Unterwasser Schäden zu verursachen.

Hierfür wurde der Zufluss von  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  Wasser in der Mera ab Promontogno bis Spino mit einer RANS-Turbulenzsimulation modelliert, auf

die ein viskoser Murgang mit einer maximalen Frontgeschwindigkeit bei der Bondascabrücke traf (debrisInterMixing mit einer Sand-Ton Suspension als Zufluss der Bondasca und dem Zufluss von Wasser in der Mera mit Turbulenzmodellen aus OpenFOAM [5]). Beurteilt wurde, ob das Murgang-Wasser-Gemisch im Folgenden vom Gerinne bis Spino abgeführt werden kann (Abbildung 1).

Die konzeptionelle Wirkungsweise des Fangdamms wurde mit Simulationen mehrerer langsamer Murgangschübe untersucht (Abbildung 2), die teilweise hohe Kieskonzentrationen an der Murgangfront aufwiesen (Abbildung 3). Die Bereiche hoher Kieskonzentration und entsprechend niedriger Schlammkonzentration galten dabei als Tracer für Bereiche mit Grobkies und größeren Blöcken.

### Entwurf für den Überlastfall

Eine ähnliche Thematik mit Rückhalteraum für das Grobgeschiebe der Front und einem "Bypass" für das verflüssigte Folgematerial wurde in einer Konzeptstudie zur Neugestaltung eines Geschiebesammlers am Giessenbach in Küsnacht am Rigi (SZ) mit debrisInterMixing untersucht. Das anhand der Modellierung entwickelte Rückhaltebauwerk hätte im Überlastfall das nachfolgende Material ohne Grobgeschiebe über eine Schulter mit Streichwehr entlastet (Abbildung 4).

### Simulationen einer Murgang-Ausleitstelle

In den laufenden Studien zur Optimierung einer Murgangausleitstelle setzt man nebst der dreidimensionalen Auslaufmodellierung auf eine genaue räumliche Modellierung des Ausleitbauwerks, um das Zusammenspiel der druckabhängigen Verfestigung und der scherratenabhängigen Verflüssigung mit der Ausleitgeometrie abzustimmen. Nebst der Ausleitstelle decken die Simulationen eine

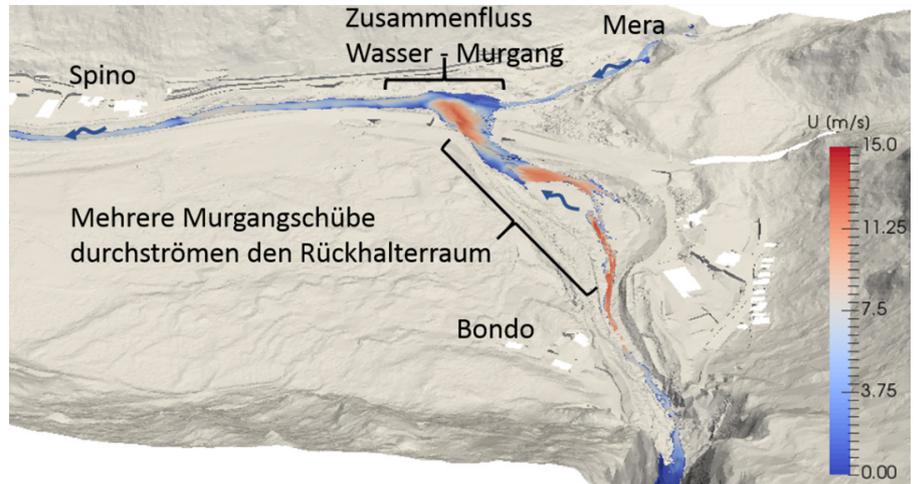


Abbildung 1: Kombinierte Modellierung Murgang-Flussströmung zur Bestimmung kleiner / häufiger Ereignisse anhand der Kapazität der Mera mittels einer 3D-Mehrfasensimulation. Blickrichtung von oberhalb der Bondasca flussabwärts.



Abbildung 2: Simulation mehrerer Murgangschübe zu Beginn (links) und nach etwa 1 Minute (rechts). Blickrichtung flussaufwärts.

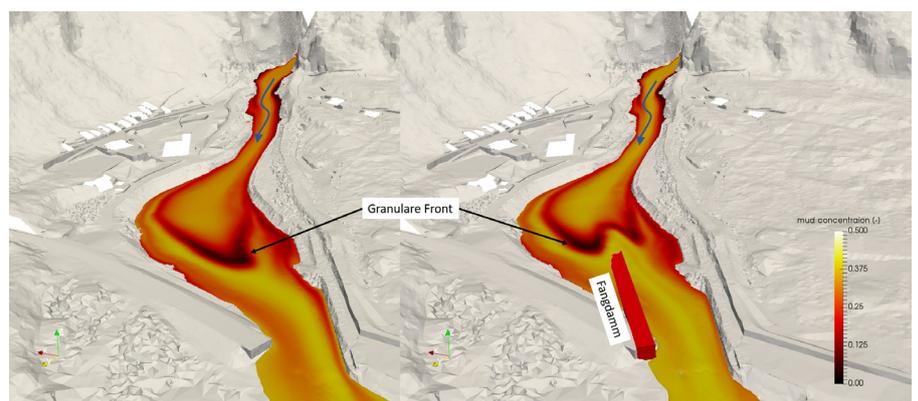


Abbildung 3: «Proof of concept» zur Abspaltung der granularen Front durch einen Fangdamm (rechts) die andernfalls den Durchlass blockieren könnte (links) mittels einer 3D-Mehrfasensimulation. Blickrichtung flussaufwärts.

Fläche von rund 120 000 m<sup>2</sup> ab, um den Ablagerungsprozess des ausgeleiteten Materials abzubilden. Das Gitternetz bestand aus rund 7.25 Millionen Zellen mit Abmessungen von durchschnittlich 0.25 x 0.25 x 0.15 m bis 75

cm über Terrain und doppelt so grober Auflö- sung darüber. Das Bemessungsereignis war mit Kubatur, Kornzusammensetzung, Frontfliessgeschwindigkeit und Fliesstiefe vorgegeben, anhand

dessen der freie Modellparameter kalibriert wurde. Die Simulationen zielen auf eine Reihe offener Fragen der Auftraggeber ab: Wie funktioniert die Ausleitstelle? Benötigt man oberhalb der Ausleitung eine seitliche Mauer gegen ungewollte Austritte? Sind weitere Schutzmassnahmen im Ausleithang erforderlich? Fliesst das Material bis über Strassen hinter dem Ablagerungsraum? Wie kann die Ausleitstelle optimiert werden?

rücksichtigt werden kann. Der Einfluss der groben Partikel auf die Wellenbildung und somit auf den Freibord wird damit berücksichtigt, zudem erlaubt dieser Detaillierungsgrad die Bestimmung von Anpralldrücken. Steine von über 20 cm Korndurchmesser und Blöcke sind jedoch weiterhin im Modell nicht enthalten, obwohl diese die Fließfront dominieren. Groblöcke können jedoch zukünftig als «Resolved-CFD-DEM» durch die Kopplung an den Diskrete-Element-Code YADE [10] (vgl. Ende

folgte in einem Hangbereich mit 30° Hangneigung anhand der Frontfließgeschwindigkeit. Der freie Modellparameter wurde so gewählt, dass bei einer Materialzusammensetzung entsprechend einem Versuch von Veltheim (AG) [12] die simulierte Fließgeschwindigkeit der in Veltheim gemessenen Geschwindigkeit entsprach. Es handelte sich bei diesem Referenzexperiment um eine künstlich ausgelöste Hangmure im Skalenbereich zwischen Labor und Natur.

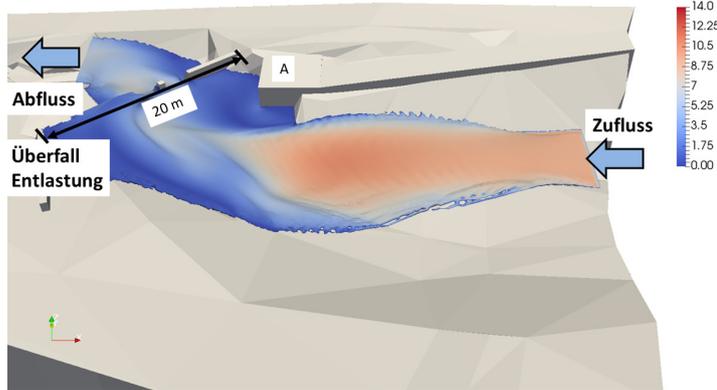


Abbildung 4: Simulation des Überlastfalls am Giessenbach bei Küsnacht am Rigi SZ. Die Bauwerksgeometrie beinhaltet auch gesicherte Zugänge zu den Arbeitsplattformen (A) für die Intervention mit Baggern.

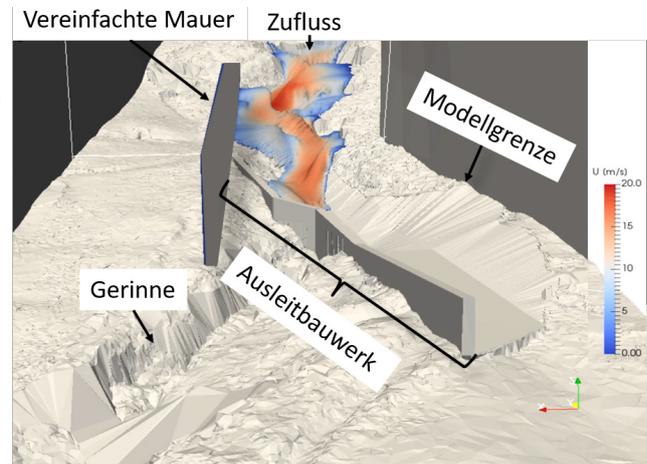


Abbildung 5: Simulation des angepassten Ausleitbauwerks vor dem Erstanprall. Die «vereinfachte Mauer» gegen ungewollte seitliche Austritte wird anschliessend auf die erforderliche Grösse reduziert. Blickrichtung flussaufwärts.

Modelliert wurden bisher zwei Bauwerksvarianten, eine dritte ist in Bearbeitung. Aufgrund der Modellresultate wurden die Varianten in der Geometrie optimiert und mit zusätzlichen Bauwerken ergänzt (Abbildung 5). Zudem wurde in zwei Simulationen der Fließ- und Ablagerungsprozess eines grossen Einzelschubes mit jenen von zwei kleineren Schüben verglichen, vor allem hinsichtlich der Wirkung von Schutzmassnahmen im Ausleithang.

In weiteren Detailstudien wird die Simulation des finalen Ausleitbauwerks gegebenenfalls um rund 200t Grobkies und Bollensteine ergänzt, die als vierweg-gekoppelte Partikel in der modellierten Murgangfront eingebettet werden, was mit debrisInterMixingLP [8] be-

folgeabschnitt) berücksichtigt werden.

## Anwendung für Hangmuren und Ausblick

Dem am FAN-Herbstkurs 2019 auf der Schwägalp (Kanton Appenzell) formulierten generellen Kritikpunkt, dass numerische Modelle für Hangmuren und Rutschprozesse mit zu grossen Unsicherheiten bei der Parameterwahl einhergehen würden, kann mit der Materialabhängigkeit begegnet werden [9]. So wurde für den Hangmuren-Workshop, des Amtes für Wald und Naturgefahren (Kanton Bern, geplant für den 12. November 2020), ein mögliches Extremereignis in Diemtigen BE modelliert, mit Modellparametern basierend auf Bodenproben im Anrissgebiet [11]. Die Kalibration er-

Bei einer Nachmodellierung der Hangmure in Eriz (BE, STOREME-Nr. 2012-RNS-0001) wurde hingegen die Auslaufdistanz als Kalibriergrösse verwendet (Abbildung 6).

2019 begann die Zusammenarbeit mit der Fachhochschule des Kantons Bern (HAFL) im Zuge des am FAN-Herbstkurs 2019 auf der Schwägalp (Kanton Appenzell) evaluierten Handlungsbedarfs im Umgang mit spontanen Rutschungen und Hangmuren. Der Anpralldruck als guter «Kandidat», um die sich als unbefriedigend erwiesenen Parameter "Ablagerungsmächtigkeit" und "mobilisierte Masse" als Intensitätskriterium abzulösen [9], erfordert eine entsprechende Abbildung der Fließprozesse im Transitbereich. Der Anprall-

druck unterliegt somit ebenfalls den Schlüsselfaktoren der scherratenabhängigen Rheologie der Sand-/Silt-/Tonsuspension einerseits und dem druckabhängigen Fließverhalten der Kiesmischung andererseits. In Zusammenarbeit mit der Berner Fachhochschule wird debrisInterMixing (DIM) an den granularen Partikelcode YADE [10] gekoppelt (DIM-Yade), um den Anpralldruck von Hangmuren simulieren zu können. Dies geschieht in Analogie zu debrisInterMixingLP [8], mit welchem bereits der fundamentale Unterschied im Anprallverhalten granularer und viskoser Mischungen modelliert wurde [8]. YADE erlaubt jedoch durch das «Verkleben» einzelner Partikel die Nachbildung grösserer Strukturen. Die Strömungskräfte auf der Oberfläche eines Blockes können damit simuliert werden (Resolved CFD-DEM) und ebenso das lokale Strömungsfeld bzw. der Rückstau, den die Bewegung eines Blockes verursacht. Vor allem in Hinblick auf Anprallkräfte und Verklausungen öffnet diese Modellierung neue Möglichkeiten der Gefahrenbeurteilung auch für Murgänge.

## Fazit

Mit der heutzutage in Ingenieurbüros üblichen IT-Ausrüstung können dreidimensionale Murgang- und Hangmurensimulationen ausgeführt werden, welche die scherratenabhängige Rheologie der Sand-/Silt-/Tonsuspension einerseits und das druckabhängige Fließverhalten der Kiesmischung andererseits berücksichtigen. Die Rückkopplung zwischen Fließverhalten, Materialzusammensetzung und Gerinne- bzw. Bauwerksgeometrie kann damit erfasst werden. Die Einwirkung ist damit in erster Linie realistisch von Material und Topografie abhängig. Die von der Materialzusammensetzung vorgegebenen Eingabegrößen reduzieren die Modellkalibrierung auf einen freien Parameter, was einen wichtigen weiteren Vorteil mit sich bringt: Ändert sich in einem Einzugsgebiet die Materialzusammensetzung

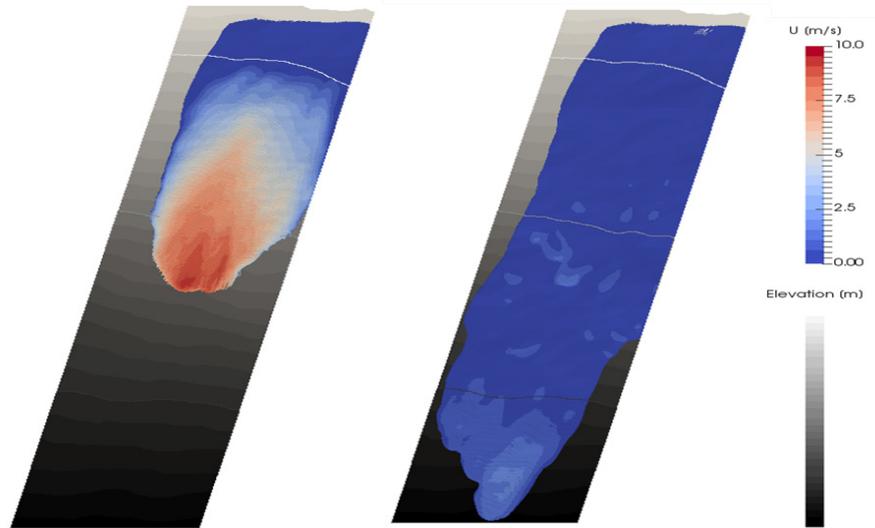


Abbildung 6: Nachmodellierung einer Hangmure bei Eriz, Kt. Bern, mit debrisInterMixing kalibriert auf die maximale Auslaufdistanz (rechts) zur Bestimmung der maximalen Fließgeschwindigkeit (links).

aufgrund sich verändernden Klimarandbedingungen oder durch unterschiedliche Lockermaterialzusammensetzungen (beispielsweise nach Bergstürzen), kann dieser Einfluss auf Murgangfließprozesse mit debrisInterMixing berücksichtigt werden, um bisherige Erfahrungswerte zum Murgangverhalten kritisch zu hinterfragen. Um die Prozesse mit der erforderlichen Qualität aufzulösen, sollten jedoch die Zellen des Simulationsgitters 25 cm Kantenlänge nicht überschreiten. Diese Anforderung ist mehr eine Bedingung der akkuraten Strömungssimulation als eine Frage der Terrainauflösung, es kann durchaus mit digitalen Geländemodellen mit gröberer Rasterauflösung gearbeitet werden. Dieses sollte aber aktuell sein.

## Literatur

- [1] Daniel Weber: Untersuchungen zum Fließ- und Erosionsverhalten granularer Murgänge, ETH-Dissertation Nr. 15321 (2004)
- [2] Marcel Hürlimann, Brian W. McArdeall & Christian Rickli: Field and laboratory analysis of the runout characteristics of hillslope debris flows in Switzerland. *Geomorphology*, 232, 20-32. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.11.030>
- [3] A. B. Prochaska, P. M. Santi, J. D. Higgins, S. H. Cannon: A study of methods to estimate debris flow velocity, *Landslides*, (2008)
- [4] Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2017 - Abfluss, Wasserstand und Wasserqualität der Schweizer Gewässer, BAFU (2018)
- [5] OpenFOAM, <https://openfoam.com/>, (2020)
- [6] A. von Boetticher, J. M. Turowski, B. W. McArdeall, D. Rickenmann, M. Hürlimann, Ch. Scheidl, J. W. Kirchner: DebrisInterMixing-2.3:

a finite volume solver for three-dimensional debris-flow simulations with two calibration parameters-Part 2: Model validation with experiments, in: *Geosci. Model Dev.*, 10, 3963–3978, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-3963-2017>, (2017).

[7] Three-dimensional debris flow simulation tool debrisInterMixing. EnviDat WSL Repository: <https://www.envidat.ch/dataset/three-dimensional-debris-flow-simulation-tool-debrisintermixing>.

[8] A. von Boetticher, B. W. McArdell, D. Rickenmann, J. W. Kirchner: Four-way coupling of a three-dimensional debris flow solver to a Lagrangian Particle Simulation: method and first results, in: 19th EGU General Assembly, EGU2017, proceedings from the conference held 23-28 April, 2017 in Vienna, Austria., p.13605

[9] B. Loup, S. Wohlwend: FAN-Fachleute Naturgefahren, Fazit des Herbstkurses 2019

[10] A. Albaba, M Schwarz, C. Wendeler, B. Loup & L. Dorren (2019): Numerical modeling using an elastoplastic-adhesive discrete element code for simulating hillslope debris flows and calibration against field experiments. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 19, 2339–2358, 2019, <https://doi.org/10.5194/nhess-19-2339-2019>

[11] A. v. Boetticher: Praxisanwendung der 3D-Hangmurensimulation zur Bestimmung der Einwirkung, *Ingenieurbiologie*, Mitteilungsblatt Nr. 3 (Okt. 2020)

[12] L. Bugnion, Brian W. McArdell, Perry Bartelt & Corinna Wendeler: Measurements of hillslope debris flow impact pressure on obstacles, in: *Landslides* 9, 179–187 (2012). <https://doi.org/10.1007/s10346-011-02944>

# Standards minimaux pour les vues d'ensemble cantonales des risques liés aux dangers naturels gravitaires

Maja Stucki <sup>1</sup> (maja.stucki@bafu.admin.ch)  
 Wanda Wicki <sup>1</sup> (wanda.wicki@bafu.admin.ch)  
 Roberto Loat <sup>1</sup> (roberto.loat@bafu.admin.ch)  
 Gian Reto Bezzola <sup>1</sup> (gianreto.bezzola@bafu.admin.ch)

<sup>1</sup> Office fédéral de l'environnement OFEV, Division Prévention des dangers, Ittigen

## Introduction

Les données de base sur les dangers naturels gravitaires en Suisse sont pour l'essentiel établies. L'étape suivante consiste, en toute logique, à mettre à profit ces données pour indiquer les risques. Afin de garantir l'uniformité à l'échelle nationale dès le début de cette étape, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a développé, en collaboration avec les cantons, des standards minimaux selon lesquels les cantons établiront leurs vues d'ensemble des risques. Ces standards feront l'objet de la révision prochaine de la loi fédérale sur l'aménagement des cours d'eau. Conjuguées aux planifications globales des cantons, qui sont elles aussi intégrées au projet de révision, les vues d'ensemble cantonales des risques constituent un instrument essentiel dans une gestion des dangers naturels qui tient dûment compte des risques. Les planifications globales servent à identifier le besoin de mesures de protection et à gérer ainsi les risques à long terme. De plus, elles permettent d'assurer une utilisation efficace et optimale des ressources dans le domaine de la protection contre les dangers naturels.

L'uniformité des vues d'ensemble cantonales des risques revêt une grande importance étant donné que celles-ci formeront les bases tant des planifications globales cantonales que, ultérieurement, de la vue d'ensemble nationale

des risques. Elle permet ainsi une meilleure comparabilité des dangers naturels entre eux ainsi qu'entre les cantons. Néanmoins, afin de ne pas imposer de restrictions aux cantons, les standards sont conçus de manière à pouvoir être étoffés au besoin.

Au plan stratégique, la vue d'ensemble fait partie de l'inventaire des risques (cf. fig. 1), tandis que la planification globale appartient au domaine de l'évaluation et du pilotage des risques. Au niveau du projet, la vue d'ensemble est généralement remplacée par la saisie détaillée des risques et la planification globale, par la planification des mesures.

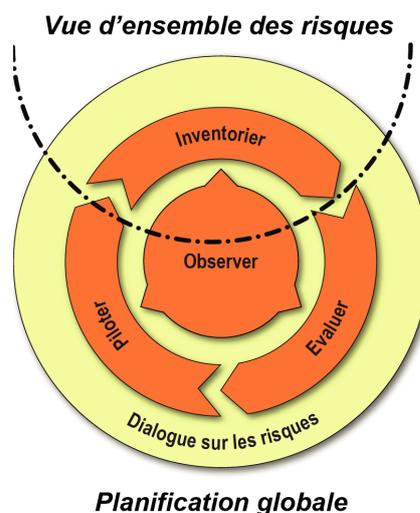


Figure 1 : Activités de la gestion des risques, délimitation de la vue d'ensemble des risques et de la planification globale.

Les vues d'ensemble se prêtent bien au dialogue sur les risques, car elles permettent de savoir immédiatement où se situent les risques majeurs liés aux différents dangers naturels.

## Procédure

D'après les standards minimaux, les vues d'ensemble résultent du croisement entre les données de base sur les dangers et celles sur l'utilisation du sol. Elles couvrent les processus que sont les eaux, les glissements de terrain, les chutes et les avalanches à l'échelle nationale, et se fondent sur les cartes des intensités et des dangers, si elles existent, ou, le cas échéant, sur les cartes indicatives des dangers. Les données de base sur l'utilisation du sol s'alignent sur les biens à protéger tels que définis par la Plate-forme nationale « Dangers naturels » (PLANAT, 2013, cf. fig. 2).

Le croisement des différentes données de base permet, dans un premier temps, de déterminer l'exposition, c'est-à-dire les biens à protéger (et leurs nombres) exposés à un danger naturel et, dans un second temps, de calculer le risque pour les personnes et les bâtiments. Les valeurs référentielles primordiales sont ensuite intégrées dans le cockpit sous forme agrégée. La figure 3 présente les étapes du processus ainsi que les produits correspondants.

Catégorie	Bien à protéger	Exposition	Risque individuel	Risque collectif
Personnes	 Population résidante	✓	✓	✓
	 Employés	✓	✓	✓
Biens d'une valeur notable	 Bâtiments	✓		✓
	 Routes	✓		
	 Chemins de fer	✓		
	 Biens culturels	✓		
	 Zones à bâtir	✓		
	 Ressources naturelles vitales pour l'être humain - sol	✓		
	 Ressources naturelles vitales pour l'être humain - eaux: Zones de protection des eaux souterraines	✓		
 Objets spéciaux	✓			

Figure 2 : Biens à protéger tels que définis par PLANAT, pour lesquels l'exposition et le risque sont déterminés.

Les données de bases requises ainsi que les étapes du processus sont détaillées ci-après.

### Données de base sur les dangers

Les données de base sur les dangers établies conformément à la partie minimale obligatoire du modèle de données pour la cartographie des dangers (OFEV, 2017) ont été considérées comme disponibles dans le cadre de l'élaboration des standards minimaux. Pour les aperçus des risques, des données de base de la meilleure qualité possible devraient être utilisées. Celles-ci doivent couvrir les processus des eaux, des glissements de terrain, des chutes et des avalanches et être élaborées selon des standards uniformisés.

L'exposition peut être déterminée sur l'ensemble du territoire de la commune grâce aux cartes des dangers, et en dehors du périmètre d'évaluation détaillé via les cartes indicatives des dangers. Si les cartes indicatives des dangers font défaut, il est possible de se tourner vers les zones d'inondation définies par Aquaprotect et vers SilvaProtect pour les surfaces touchées par les autres processus. Bien que l'aléa ruissellement ne fasse actuellement pas partie intégrante des standards minimaux, il est toutefois fortement recommandé d'en tenir compte. La carte de l'aléa ruissellement, disponible depuis 2018, fournit des informations pour l'ensemble du pays (cf. FAN-Agenda 2019/1).

Les cartes des intensités et leurs informations

sur la probabilité d'occurrence sont quant à elles indispensables pour calculer le risque. Ainsi, si le canton ne possède pas encore de cartes des intensités, il lui est impossible de calculer le risque. Il doit alors se cantonner à déterminer l'exposition.

### Données de base sur l'utilisation du sol

Les données de base sur l'utilisation du sol ont été sélectionnées de sorte à couvrir les biens à protéger énumérés à la figure 2 de la manière la plus exhaustive possible. Aussi des jeux de données homogènes collectés à l'échelle nationale ont-ils été utilisés. Le jeu de données concernant la population résidante et les employés provient de l'Office fédéral de la statistique, celui pour les bâtiments, les routes

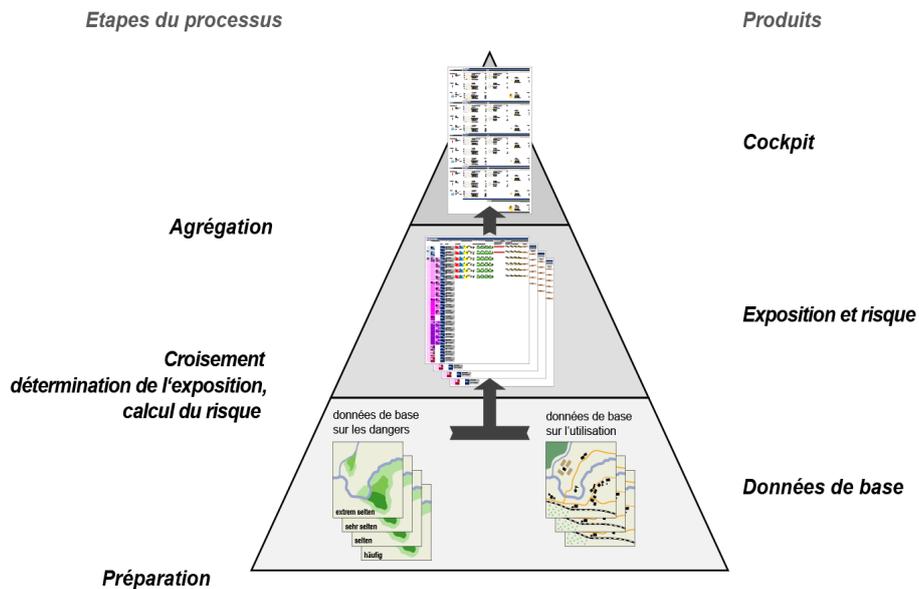


Figure 3 : Étapes du processus et produits des vues d'ensemble cantonales des risques

et les chemins de fer, de swisstopo et celui relatif aux biens culturels, de l'Office fédéral de la protection de la population. L'Office fédéral du développement territorial fournit les informations sur les zones à bâtir et l'OFEV, les données sur les eaux. Les jeux de données sont, dans la mesure du possible, utilisés sous leur forme originale, exception faite des données sur les bâtiments. En effet, celles-ci doivent encore être préparées, car elles ne contiennent pas certaines informations indispensables pour le calcul des risques. Il est donc nécessaire, pour obtenir les indications souhaitées, de combiner les données sur les bâtiments et celles sur la population résidante, les employés et les différentes zones à bâtir. Il est ainsi possible de savoir, par exemple, si un bâtiment est occupé à des fins personnelles ou professionnelles. Ces informations permettent à leur tour d'affecter les bâtiments à un type d'objet selon EconoMe (OFEV, 2019) et d'attribuer une valeur de vulnérabilité aux bâtiments et une valeur de létalité aux personnes. Ces valeurs servent ensuite à calculer le risque.

### Exposition

Dans un premier temps, il faut déterminer l'exposition, sur laquelle repose le calcul du risque. L'association des données de base sur l'utilisation du sol, des cartes des dangers et des cartes indicatives des dangers permet d'identifier et de répertorier les biens à protéger exposés à un danger naturel en fournissant des informations quantitatives, comme le nombre de biens (p. ex. personnes), de mètres (p. ex. tronçons de routes) ou de mètres carrés (p. ex. bâtiments) concernés. L'exposition est déterminée par bien à protéger, secteur de danger et secteur de danger indicatif.

S'agissant des personnes et des bâtiments, l'exposition par secteur de danger est par ailleurs répartie en plusieurs degrés de danger (rouge, bleu, jaune et jaune-blanc) sur la base de la carte des dangers. Elle est également déterminée par scénario et par intensité à l'aide des cartes des intensités.

### Risque

Les risques sont calculés pour les personnes et les bâtiments, ces objets à protéger étant presque intégralement couverts par les cartes

d'intensité. Les cantons sont toutefois libres de calculer le risque pour d'autres biens à protéger selon leurs besoins et leurs possibilités. La méthode de calcul des risques ainsi que les valeurs et formules nécessaires s'orientent sur le modèle EconoMe 5.0. Concernant les personnes, le risque individuel de décès est calculé au domicile et sur le lieu de travail. La vue d'ensemble des risques montre le nombre de personnes pour lesquelles le risque de décès est supérieur à  $10^{-5}$  par an. En outre, les risques liés aux personnes sont présentés sous forme monétaire au moyen de la valeur d'une vie statistique (Value of Statistical Life), correspondant aux coûts marginaux. Pour la population résidante, les employés et les bâtiments, l'ampleur des dégâts est calculée par scénario de base (indice trentennal, centennal, tricentennal et extrême), et le risque collectif, en francs par année.

### Produits

Une partie des standards minimaux est un modèle Excel qui, une fois rempli, présente les résultats de la vue d'ensemble. Il se compose d'une feuille par processus principal et du cockpit (cf. fig. 4), qui compile certains

résultats extraits des différentes feuilles et livre ainsi une vue d'ensemble de l'analyse. La structure des feuilles correspond à celle de la figure 2, c'est-à-dire que l'ensemble des biens à protéger sont représentés avec l'exposition et, le cas échéant, les risques correspondants. Dans le cockpit, seuls la population résidente, les employés et les bâtiments sont présentés avec leur exposition et leurs risques sous forme graphique et numérique, les quatre processus étant visibles sur une même feuille. La figure 4 montre à titre d'exemple un extrait du cockpit, raison pour laquelle un seul des quat-

re processus principaux apparaît. Les tableaux ainsi que le cockpit correspondant sont établis pour chaque commune, ce qui permet d'identifier quels processus font courir un risque considérable dans quelle commune et à quels biens à protéger. Le canton est ainsi en mesure d'évaluer les secteurs dans lesquels il est judicieux de réaliser une analyse des risques plus approfondie. Les vues d'ensemble communales des risques peuvent être combinées pour créer des vues d'ensemble cantonales qui peuvent à leur tour donner une vue d'ensemble nationale.

Les standards minimaux présentés constituent une première version, consolidée avec les cantons. Si nécessaire, ils pourront être développés ultérieurement en fonction des expériences acquises par les cantons dans l'élaboration de leurs vues d'ensemble des risques.

La documentation relative aux standards minimaux peut être téléchargée sur le site Internet de l'OFEV :

[www.bafu.admin.ch/vuesdesrisques](http://www.bafu.admin.ch/vuesdesrisques)



### Literatur

Plate-forme nationale «Dangers naturels», 2013. Niveau de sécurité face aux dangers naturels, Berne.

<http://www.planat.ch/fr/commercialisation-de-materiaux-de-details/datum/2017/02/23/sicherheitsniveau-fuer-naturgefahren-1/>

Office fédéral de l'environnement OFEV, 2017. Modèle de données, Berne.

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/dangers-naturels/etat/cartes/modeles-geodonnees.html>

Office fédéral de l'environnement OFEV, 2019. EconoMe 5.0, Berne.

[https://econome.ch/eco\\_work/index.php?PHPSESSID=vmsdklbjh353vd3ushg553127](https://econome.ch/eco_work/index.php?PHPSESSID=vmsdklbjh353vd3ushg553127)

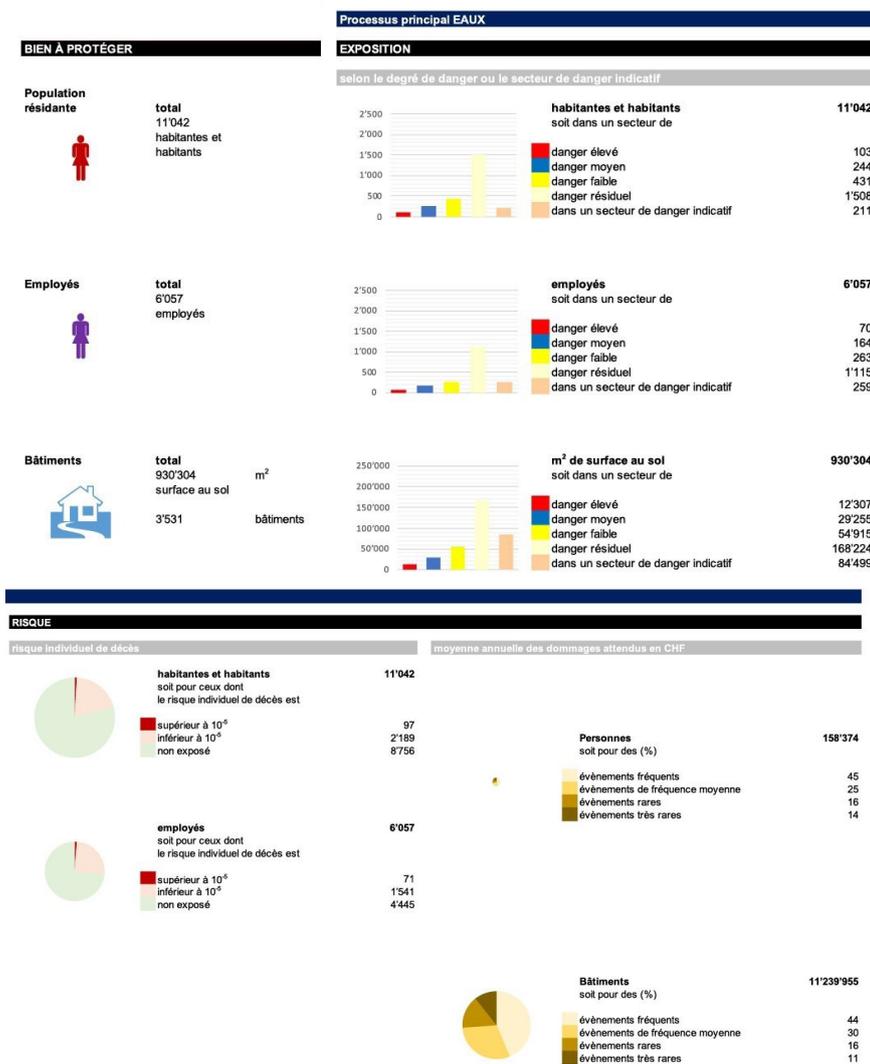


Figure 4: Extrait du cockpit adressant un des quatre processus principaux (pour des questions de lisibilité, seule une partie du tableau est représentée; voir documentation complète sur Internet: [www.bafu.admin.ch/vuesdesrisques](http://www.bafu.admin.ch/vuesdesrisques))

# Minimale Standards für kantonale Risikoübersichten gravitativer Naturgefahren

Maja Stucki <sup>1</sup> (maja.stucki@bafu.admin.ch)  
 Wanda Wicki <sup>1</sup> (wanda.wicki@bafu.admin.ch)  
 Roberto Loat <sup>1</sup> (roberto.loat@bafu.admin.ch)  
 Gian Reto Bezzola <sup>1</sup> (gianreto.bezzola@bafu.admin.ch)

<sup>1</sup> Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Gefahrenprävention, Ittigen

## Einleitung

Die Gefahrengrundlagen für gravitative Naturgefahren sind in der Schweiz grösstenteils erstellt. Der nächste logische Schritt ist die Inwertsetzung dieser Grundlagen zum Aufzeigen der Risiken. Um bei diesem Schritt schon im Anfangsstadium eine gesamtschweizerische Einheitlichkeit zu erreichen, entwickelte das BAFU zusammen mit den Kantonen minimale Standards, nach denen die Kantone ihre Risikoübersichten erstellen. Die Standards sind in die anstehende Revision des Wasserbaugesetzes eingebettet. Zusammen mit den kantonalen Gesamtplanungen, die auch Bestandteil der Gesetzesrevision sind, stellen die kantonalen Risikoübersichten ein wichtiges Element im risikoorientierten Umgang mit Naturgefahren dar. Die Gesamtplanungen dienen dazu, den Handlungsbedarf bezüglich Schutzmassnahmen zu bestimmen und so die Risiken langfristig zu steuern. Weiter wird mit den Gesamtplanungen ein effizienter und optimaler Mitteleinsatz zum Schutz vor Naturgefahren gewährleistet.

Da die kantonalen Risikoübersichten eine wesentliche Grundlage sowohl für die kantonalen Gesamtplanungen als auch später für eine nationale Risikoübersicht bilden, ist es wichtig, dass sie einheitlich sind. So können die Risiken der einzelnen Naturgefahren untereinander sowie über die Kantone hinweg besser

verglichen werden. Um aber die Kantone nicht einzuschränken, sind die Standards so gestaltet, dass sie, je nach Bedürfnis und Möglichkeit, erweitert werden können.

Auf strategischer Ebene sind die Risikoübersichten bei der Risikoerfassung anzusiedeln (siehe Risikokreislauf Abb. 1), die Gesamtplanungen entsprechen dann der Risikobewertung und –steuerung. Auf Projektebene werden die Risiken wie bereits heute detaillierter erfasst. Die Gesamtplanungen entsprechen dort den Massnahmenplanungen.

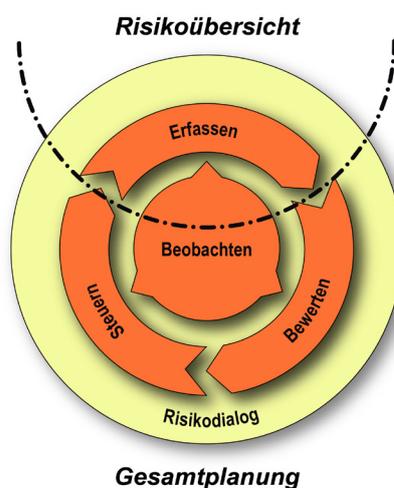


Abbildung 1: Tätigkeiten im Risikomanagement mit Positionierung der Risikoübersichten und Gesamtplanungen.

Risikoübersichten eignen sich für den Risikodialog, da aus ihnen ersichtlich ist, wo grössere Risiken durch entsprechende Naturgefahren vorhanden sind.

## Vorgehen

Gemäss den minimalen Standards entstehen Risikoübersichten durch den Verschnitt von Gefahren- und Nutzungsgrundlagen. Sie werden flächendeckend für die Prozesse Wasser, Rutschung, Sturz und Lawine erstellt. Wo vorhanden werden Gefahren- und Intensitätskarten verwendet, ansonsten kommen die Gefahrenhinweiskarten zum Zug. Die Nutzungsgrundlagen richten sich nach den Schutzgütern gemäss PLANAT (2013), siehe Abb. 2.

Durch den Verschnitt der Grundlagen wird in einem ersten Schritt die Betroffenheit ermittelt, welche und wie viele (Menge) Schutzgüter von einer Naturgefahr betroffen sind. In einem zweiten Schritt wird für Personen und Gebäude zusätzlich das Risiko berechnet. Die wichtigsten Kennwerte werden anschliessend im Cockpit aggregiert dargestellt. In Abb. 3 sind die entsprechenden Arbeitsschritte bzw. Produkte abgebildet.

Kategorie	Schutzgut	Betroffenheit	Risiko individuell	Risiko kollektiv
Personen	 Wohnbevölkerung	✓	✓	✓
	 Beschäftigte	✓	✓	✓
Erhebliche Sachwerte	 Gebäude	✓		✓
	 Infrastruktur Strasse	✓		
	 Infrastruktur Bahn	✓		
	 Kulturgüter	✓		
	 Bauzonen	✓		
	 Lebensgrundlagen des Menschen - Boden	✓		
	 Lebensgrundlagen des Menschen - Wasser: Grundwassergebiet	✓		
	 Sonderobjekte	✓		

Abbildung 2: Schutzgut, in Anlehnung an die Systematik der PLANAT, für welche die Betroffenheit und das Risiko ermittelt werden.

Nachfolgend werden die benötigten Grundlagen sowie die Arbeitsschritte näher beschrieben.

## Gefahregrundlagen

Bei der Entwicklung der minimalen Standards wurde davon ausgegangen, dass die Gefahregrundlagen gemäss dem minimalen, obligatorischen Teil des Datenmodells Gefahrenkartierung (BAFU, 2017) vorhanden sind. Als Grundsatz gilt jedoch, für die Risikoübersichten die qualitativ besten Gefahregrundlagen zu verwenden. Diese müssen die Prozesse Wasser, Rutschung, Sturz und Lawine abdecken und nach einheitlichen Standards erarbeitet sein.

Zur Ermittlung der Betroffenheit werden für das Siedlungsgebiet die Gefahrenkarten und

ausserhalb des detaillierten Beurteilungsperimeters die Gefahrenhinweiskarten verwendet. Fehlen Gefahrenhinweiskarten können auch Flutzonen aus Aquaprotect resp. Prozessflächen aus SilvaProtect beigezogen werden. Obwohl aktuell nicht Bestandteil der minimalen Standards, wird sehr empfohlen, den Oberflächenabfluss auch zu berücksichtigen. Seit 2018 steht dazu die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss, eine schweizweit einheitliche Grundlage, zur Verfügung (siehe FAN Agenda 2019/1).

Für die Berechnung des Risikos braucht es jedoch Intensitätskarten mit Angaben zur Eintretenswahrscheinlichkeit. Verfügt ein Kanton noch nicht über Intensitätskarten, kann kein Risiko berechnet werden; es wird in dem Fall einzig die Betroffenheit ausgewiesen.

## Nutzungsgrundlagen

Die Nutzungsgrundlagen sind so gewählt, dass sie die in Abb. 2 aufgelisteten Schutzgüter möglichst umfassend abdecken. Es werden homogene und schweizweit erhobene Datensätze verwendet. Der Datensatz für Wohnbevölkerung und Beschäftigte stammt vom Bundesamt für Statistik (BFS). Die Daten für Gebäude, Strassen und Bahn von swisstopo, die Kulturgüter stammen vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS), die Bauzonen vom Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) und die Daten für die Lebensgrundlage Wasser liefert das Bundesamt für Umwelt (BAFU). Mit Ausnahme der Gebäudedaten werden die Datensätze möglichst in ihrer Ausgangsform verwendet. Der Gebäudedatensatz muss noch aufbereitet werden, da in seiner heutigen Version relevante Informationen für die Risi-

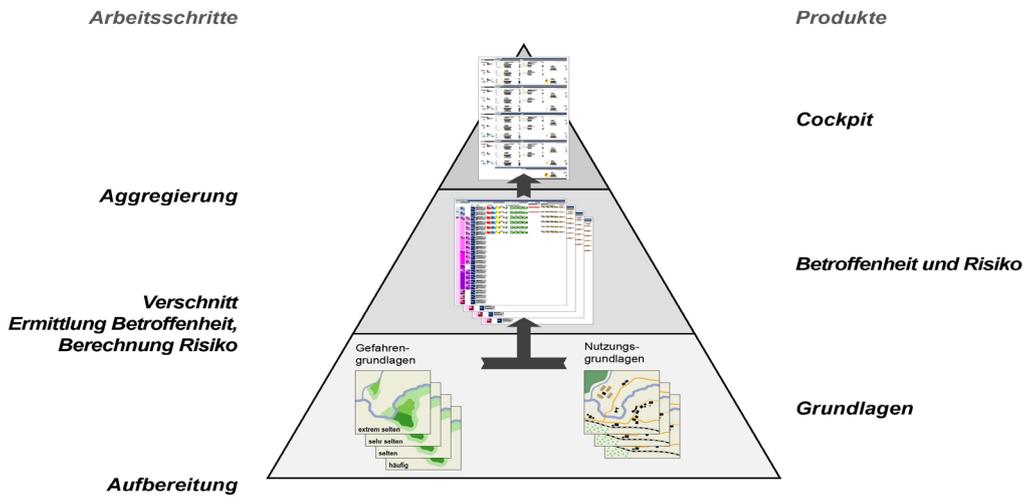


Abbildung 3: Arbeitsschritte und Produkte der kantonalen Risikoübersichten.

koermittlung fehlen. Die gewünschten Informationen erhält man durch Kombination der Gebäudedaten mit Daten zur Wohnbevölkerung, den Beschäftigten und zu den verschiedenen Bauzonen. So kann beispielsweise unterschieden werden, ob ein Gebäude bewohnt ist oder nicht, oder ob darin gearbeitet wird. Diese Angaben erlauben wiederum eine Zuteilung der Gebäude zu einer Objektart nach EconoMe (BAFU 2019). So kann jedem Gebäude ein Schadenempfindlichkeitswert bzw. jeder Person ein Letalitätswert zugewiesen werden. Diese Werte werden für die Risikoberechnung gebraucht.

### Betroffenheit

Als erster Schritt und als Grundlage für die Risikoberechnung wird die Betroffenheit ermittelt. Aus dem Verschnitt der Nutzungsgrundlagen mit den Gefahren- bzw. Gefahrenhinweiskarten wird ersichtlich, welche Schutzgüter von einer Naturgefahr betroffen sind. Die Angaben sind quantitativ; es werden die betroffene Anzahl (z.B. bei Personen), Meter (z.B. bei Strassen) oder Quadratmeter (z.B. bei Gebäuden) ermittelt und aufgelistet. Für alle Schutzgüter wird die Betroffenheit insgesamt angegeben

sowie die Betroffenheit pro Gefahrengebiet bzw. Gefahrenhinweisgebiet.

Für die Schutzgüter Personen und Gebäude wird die Betroffenheit pro Gefahrengebiet anhand der Gefahrenkarte noch weiter in die Gefahrenstufen rot, blau, gelb und gelb-weiss differenziert. Zudem wird für diese Schutzgüter die Betroffenheit pro Szenario und Intensität anhand der Intensitätskarten ermittelt.

### Risiko

Für die Schutzgüter Personen und Gebäude werden auch die Risiken berechnet. Die Fokussierung auf diese Schutzgüter beruht darauf, dass diese durch Intensitätskarten fast vollständig abgedeckt sind. Es steht den Kantonen aber frei, nach Bedarf und entsprechenden Möglichkeiten, Risiken auch für andere Schutzgüter zu berechnen. Die Risikoberechnungen resp. die dafür gebräuchlichen Formeln und Werte orientieren sich an EconoMe 5.0. Bei den Personen wird das individuelle Todesfallrisiko am jeweiligen Wohn- bzw. Arbeitsort berechnet. In der Risikoübersicht ausgewiesen wird die Anzahl Personen, deren Todesfallrisiko grösser als  $10^{-5}$  pro Jahr

Produkte

Cockpit

Betroffenheit und Risiko

Grundlagen

ist. Weiter werden die Personenrisiken mittels des Value of Statistical Life, den sogenannten Grenzkosten, monetarisiert. Für die Schutzgüter Wohnbevölkerung, Beschäftigte und Gebäude wird das jeweilige Schadenausmass pro Grundszenario (30-, 100-, 300-jährlich und extrem) sowie das kollektive Risiko in Franken pro Jahr berechnet.

### Produkte

Bestandteil der minimalen Standards ist eine Excel-Vorlage, welche ausgefüllt das Ergebnis der Risikoübersicht bildet. Diese Vorlage besteht aus je einem Tabellenblatt pro Hauptprozess sowie dem Cockpit (Abb. 4), in welchem ausgewählte Ergebnisse aus den Tabellenblättern zusammengestellt sind und welches einen raschen Überblick liefert. Der Aufbau der Tabellenblätter entspricht dabei der Abbildung 2. Es werden also alle Schutzgüter mit ihren Betroffenheiten und gegebenenfalls Risiken gezeigt. Im Cockpit sind nur die Schutzgüter Wohnbevölkerung, Beschäftigte und Gebäude mit den Betroffenheiten und Risiken grafisch und numerisch dargestellt, dafür sind alle vier Prozesse auf einem Blatt zu sehen. In der Abbildung 4 ist das Cockpit für einen der vier

Hauptprozesse beispielhaft dargestellt.

Die Tabellen sowie das zugehörige Cockpit werden für jede Gemeinde einzeln erstellt. So ist erkennbar, welche Prozesse in welcher Gemeinde grössere Risiken verursachen bzw. welche Schutzgüter betroffen sind. Damit kann im Kanton abgeschätzt werden, wo eine vertiefere Risikoanalyse angezeigt wäre. Die Risikoübersichten der Gemeinden können weiter zu kantonalen Risikoübersichten zusammengezogen werden; durch einen noch-

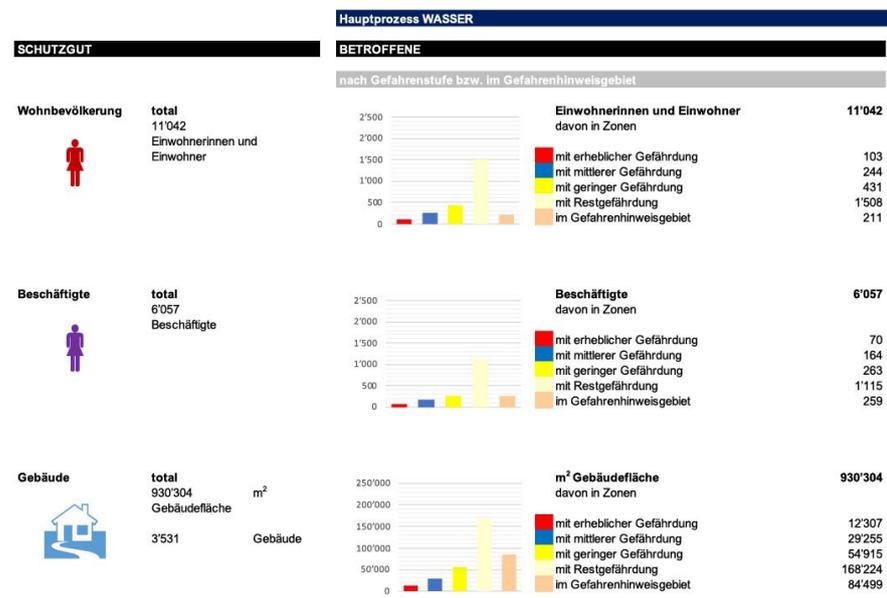
maligen Zusammenzug entsteht dann eine nationale Risikoübersicht.

Bei den minimalen Standards handelt es sich um eine erste Version, die zusammen mit den Kantonen konsolidiert wurde. Mit den Erfahrungen, welche die Kantone nun beim Erstellen der Risikoübersichten machen, werden die Standards zukünftig bei Bedarf weiterentwickelt.

Die Unterlagen zu den minimalen Standards

können auf der Website des BAFU heruntergeladen werden:

[www.bafu.admin.ch/risikoubersichten](http://www.bafu.admin.ch/risikoubersichten)



### Literatur

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, 2013. Sicherheitsniveau für Naturgefahren, Bern.

[www.planat.ch/de/infomaterial-detailansicht/datum/2017/02/23/sicherheitsniveau-fuer-naturgefahren-1/](http://www.planat.ch/de/infomaterial-detailansicht/datum/2017/02/23/sicherheitsniveau-fuer-naturgefahren-1/)

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2017. Datenmodell Gefahrenkartierung, Bern.

[www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/naturgefahren/zustand/karten/geodatenmodelle.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/naturgefahren/zustand/karten/geodatenmodelle.html)

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2019. EconoMe 5.0, Bern.

[https://econome.ch/eco\\_work/](https://econome.ch/eco_work/)

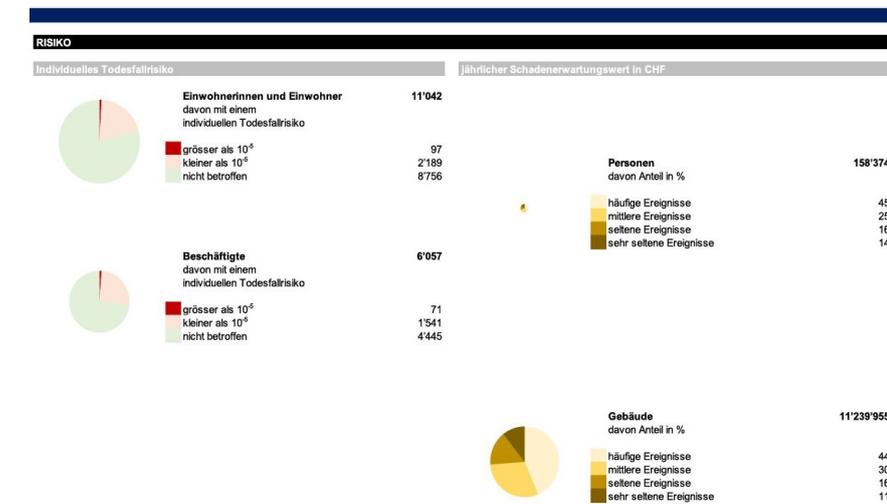


Abbildung 4: Ausschnitt aus dem Cockpit, dargestellt ist einer von vier Hauptprozessen (um die Lesbarkeit zu gewährleisten, wird nur ein Teil der Tabelle gezeigt; siehe vollständige Dokumentation im Internet: [www.bafu.admin.ch/risikoubersichten](http://www.bafu.admin.ch/risikoubersichten)).

# Gefahrenkarten in der Schweiz – Entwicklung und Umsetzung

Hans Kienholz <sup>1</sup> ([hans.kienholz@bluewin.ch](mailto:hans.kienholz@bluewin.ch))

## Résumé

Après l'hiver d'avalanches de 1951, de premières cartes de danger d'avalanche ont été produites. Bien que les projets de loi sur l'aménagement du territoire l'aient exigé dès 1972, il a fallu attendre les intempéries de 1987 pour que des activités systématiques de cartographie synoptique des dangers soient lancées. Par la suite, des groupes de travail (administrations fédérales et cantonales, bureaux privés, instituts de recherche et universités) ont élaboré des critères et des procédures harmonisés. Les associations professionnelles axées sur la pratique ont joué et jouent encore un rôle important en tant que promoteurs et développeurs. Les méthodes d'évaluation des dangers utilisées et les critères de classification sont décrits et justifiés dans l'article. Aujourd'hui, les évaluations et les cartes des dangers en Suisse sont techniquement avancées et disponibles dans la plupart des communes. Toutefois, il reste encore à prendre des mesures pour la mise en œuvre dans l'aménagement du territoire et dans les procédures de permis de construire.

## Zusammenfassung

Nach dem Lawinenwinter 1951 wurden erste Lawinengefahrenkarten erstellt. Obschon Entwürfe des Raumplanungsgesetzes dies bereits ab 1972 forderten, lösten erst die Unwetter von 1987 systematische Aktivitäten für synoptische Gefahrenkarten aus. In der Folge haben Arbeitsgruppen (Verwaltungszweige von Bund

und Kantonen, private Büros, Forschungsanstalten und Hochschulen) harmonisierte Kriterien und Verfahren erarbeitet. Dabei spielten und spielen praxisorientierte Fachvereine eine wichtige Rolle als Treiber und Entwickler. Die verwendeten Methoden der Gefahrenbeurteilung und die Einstufungskriterien werden im Beitrag skizziert und begründet. Heute sind Gefahrenbeurteilungen und Gefahrenkarten in der Schweiz technisch auf einem hohen Stand und in den meisten Gemeinden verfügbar. In der raumplanerischen Umsetzung und den Baubewilligungsverfahren besteht dagegen noch Handlungsbedarf.

## Erste Gefahrendarstellungen in der Schweiz

Wie in vielen Gebirgsländern gibt es auch in der Schweiz eine Jahrhunderte alte Tradition organisierter Gefahrenabwehr. Erste systematische Übersichten über Naturgefahren wurden nach Gründung des Bundesstaates 1848 erarbeitet (z.B. Culmann 1864). Ab 1893 wird von Johann Coaz (Kantonsoberförster Graubünden, später eidgenössischer Forstinspektor) eine Lawinenkarte 1:250'000 der Schweizer Alpen erstellt, die 1910 publiziert wurde (Coaz 1910).

Am 6. März 1928 sagte der eidg. Forstinspektor F. Fankhauser (zit. in Frutiger 1970) in einem Vortrag über Lawinen und Lawinenverbau: «Wenn in neuerer Zeit da und dort auch als gefährdet bekannte Stellen für teures Geld

an Ortsfremde als Hausplätze verkauft und von diesen in guten Treuen überbaut wurden, [...] so sollte dies für die Zukunft als Lehre dienen und die Gemeindebehörden veranlassen, wo eine solche Gefahr besteht, die Baubewilligung nicht zu erteilen.»

Nach dem Lawinenwinter 1951 weist der Bund auf die Notwendigkeit von Lawinenzonenplänen hin. Der 1953/54 erstellte Lawinenzonenplan Gadmen unterscheidet erstmals «Bauzonen» und Gebiete mit «Bauverbot» (siehe z.B. Abb. 1 in Margreth 2019). 1960 erstellte M. Schild (SLF, Davos) eine Lawinengefahrenkarte von Wengen (Berner Oberland) mit den heute gebräuchlichen Farben rot und blau. Die Vollziehungsverordnung zum Bundesgesetz betreffend die Eidgenössische Oberaufsicht über die Forstpolizei (WaV 1965) verlangte von den Kantonen die Ausscheidung der lawinengefährdeten Zonen.

1975 konnten die provisorischen «Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr» (OFI 1975) herausgegeben werden, welche Vorschriften für die Erstellung von Lawinenkatastern, Lawinengefahrenkarten und Lawinenzonenplänen in der Schweiz enthalten. In der Folge wurden durch das SLF Davos und die Waldämter der Gebirgskantone zahlreiche Lawinengefahrenkarten erstellt (siehe dazu Margreth 2019).

## Beginn der institutionalisierten Raumplanung

Das erste Waldgesetz der Schweiz (Bundesblatt, 1876) mit Rodungsverbot im Hochgebirge gilt als wichtiger Schritt auf dem Weg zu einer Raumplanung. Die eigentliche Institutionalisierung der Raumplanung erfolgte in der Schweiz sehr zögerlich:

1876: Eidgenössisches Waldgesetz

1942: Tagung an der ETH Zürich über Landesplanung

1943: Gründung Vereinigung Landesplanung Schweiz VLP

1954 – 1959: Nationalstrassenplanung

1963: Bodenrechtsinitiative der SP und des Gewerkschaftsbundes

1969: Verfassungsartikel über die Raumplanung

1969 – 1971: Erarbeitung Landesplanerischer Leitbilder durch ORL-Institut der ETH Zürich

1972: Bundesbeschluss über dringliche Massnahmen auf dem Gebiete der Raumplanung

1976: Entwurf eines Raumplanungsgesetzes vom 4. Oktober 1974 in der Abstimmung verworfen

1980: Bundesgesetz über die Raumplanung (RPG) vom 22. Juni 1979 tritt in Kraft

Das Raumplanungsgesetz des Bundes (RPG 1980) widerspiegelt den schweizerischen Föderalismus: Die Planungshoheit liegt im Wesentlichen bei Kantonen und Gemeinden. Eine ausführliche Darstellung der Geschichte der Raumplanung in der Schweiz findet sich in Lendi (2018).

## Naturgefahren werden zum Thema in der Raumplanung

Seit Beginn der 1970er Jahre werden in

der Schweiz politisch und juristisch Voraussetzungen für das Einbeziehen der Naturgefahren in die Raumplanung geschaffen. Der Bundesbeschluss über dringliche Massnahmen auf dem Gebiete der Raumplanung von 1972 hat die Kantone verpflichtet, diejenigen Gebiete zu bezeichnen, "deren Besiedlung und Überbauung [...] zum Schutz vor Naturgewalten vorläufig einzuschränken oder zu verhindern ist" (Bundesbeschluss 1972).

Im schliesslich verabschiedeten Bundesgesetz über die Raumplanung (RPG 1980) verlangt Art. 6, dass die Kantone für ihre kantonalen Richtpläne Grundlagen erarbeiten, in denen sie feststellen, "welche Gebiete [...] durch Naturgefahren oder schädliche Einwirkungen erheblich bedroht sind."

In der Folge, bzw. parallel zu den Bestrebungen auf Bundesebene formulierten z.B. der Kanton Graubünden (1971) und der Kanton Bern (1973) Erlasse, die Gefahrenzonen fordern. Gleichzeitig werden auch in Österreich gesetzliche Grundlagen für die Ausscheidung von Gefahrengebieten geschaffen (z.B. Ha-nausek 1975 a) und b).

Ebenso wurden u.a. in den Alpenländern Gefahren-Übersichten in kleinen ( $\leq 1:100'000$ ) und mittleren Massstäben (z.B.  $1:25'000$ ) erstellt. (Quellenhinweise dazu siehe Frutiger 1980, Kienholz 1977a). Die meisten dieser Übersichten und – zumindest in der Schweiz – auch die wenigen grossmassstäbigen ( $1:10'000$  oder  $1:5'000$ ) Gefahrenkarten oder Gefahrenzonenpläne befassten sich entweder jeweils nur mit einem einzigen Gefahrenprozess oder bei Berücksichtigung mehrerer Gefahrenarten wurden diese nicht auf eine vergleichbare Weise behandelt.

## Sektorielles Arbeiten – erste Versuche der Synopsis

Während Gesetze und die Bedürfnisse der

Raumordnung implizit und z.T. explizit die Berücksichtigung aller relevanten Naturgefahren forderten, arbeiteten in der Schweiz Verwaltung (Forstämter, Wasserbauämter, Kantonsgeologen) und Praxis bis in die 1980er Jahre zumeist sektoriell und oft ohne Koordination. Durch Spezialisten dieser Verwaltungszweige und privater Büros wurden zusammen mit der ETH und weiteren Hochschulinstituten sowie der EAFV fachliche Grundlagen für Gefahrenbeurteilungen und – bezüglich Lawinen – die Erstellung von Gefahrenkarten geschaffen.

Die sektorielle Organisation der Verwaltungen von Bund und Kantonen und die Pflege des jeweiligen Berufsstandes in Verwaltung und Privatwirtschaft verzögerten bis Ende der 1980er Jahre die Erstellung von synoptischen Gefahrengrundlagen. So war es einer Pilotstudie der Universität Bern vorbehalten, eine erste synoptische Gefahrenkarte zu erarbeiten (Kienholz 1977 a und b). Mangels systematischer Ereigniskataster und Katasterkarten (Ausnahme Lawinen) und angesichts der – abgesehen von der Lawinengefahr – nur rudimentären Berechnungsmodelle lag das methodische Schwergewicht im ersten Schritt auf der Erstellung einer geomorphologischen Grundlagenkarte. Es galt, die Spuren («stumme Zeugen») und Indikatoren von gefährlichen Prozessen zu kartieren (Signaturen u.a. inspiriert von Bunza, Karl 1975). Die beschränkte Verfügbarkeit von Luftbildern in genügender Auflösung erforderten damals intensive, räumlich dichte Begehungen. Darauf aufbauend erfolgten die Gefahrenbeurteilungen weitgehend gutachtlich im Gelände. Neben den wenigen Angaben über frühere Ereignisse waren dabei Checklisten (Aulitzky 1973 und 1975, Moser 1973) hilfreich. Verfügbare empirische hydrologische Formeln (Abflüsse aus Wildbachgebieten) und einfache hydraulische Berechnungen sowie Pauschalgefälle bei Sturzprozessen stützten die Analysen. Die

Beurteilung der Lawinengefahr erfolgte durch W. Schwarz (Lawinendienst Berner Oberland) mit Hilfe des bereits verfügbaren Lawinenkatasters und lawinentechnischen Berechnungen gemäss OFI (1975). Die Darstellung der Gefahrenkarte verwendete für die Lawinen die Vorgaben von OFI (1975): rot = erheblich/es besteht kein Zweifel; blau = Gefährdung zweifelhaft, kleine Intensität; gelb = sehr geringe Gefahr. Für die andern Gefahren wurden die 4 Gefahrenstufen wie folgt definiert: rot = erheblich, blau = mittel, gelb = mässig, weiss = nach menschlichem Ermessen keine Gefahr. Die blaue Gefahrenstufe entsprach annähernd der in Österreich bereits damals gebräuchlichen gelben Stufe. Die Karte wurde nie in einen Zonenplan übernommen, jedoch während zwei Jahrzehnten bei Bauvorhaben inoffiziell konsultiert.

In Österreich begann in dieser Zeit der «Forsttechnische Dienst der Wildbach- und Lawinnenverbauung» die systematische Erstellung von teil-synoptischen Wildbach- und Lawinenzonenplänen. Andere Gefahrenarten (Sturz und Rutsch) wurden als Hinweis berücksichtigt. Aus institutionellen Gründen wurden dagegen Überflutungskarten kaum integriert. Bis Ende der 1980er Jahre wurden in der Schweiz (abgesehen von der oben genannten Pilotstudie und von vereinzelt Hinweis- und Übersichtskarten) praktisch keine synoptischen Gefahrendarstellungen in den für die Raumplanung relevanten Massstäben (1:5'000 oder 1:10'000) erstellt. In den Gebirgskantonen wurden dagegen weiterhin zügig Lawinengefahrenkarten erarbeitet, dies vor allem weil in Tourismusorten (Bauboom und Bodenspekulation) die Überbauung von lawinengefährdeten Bereichen drohte (Frutiger 1970). 1984 wurden die Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten BFF, EISLF (1984) als Ersatz von OFI (1975)

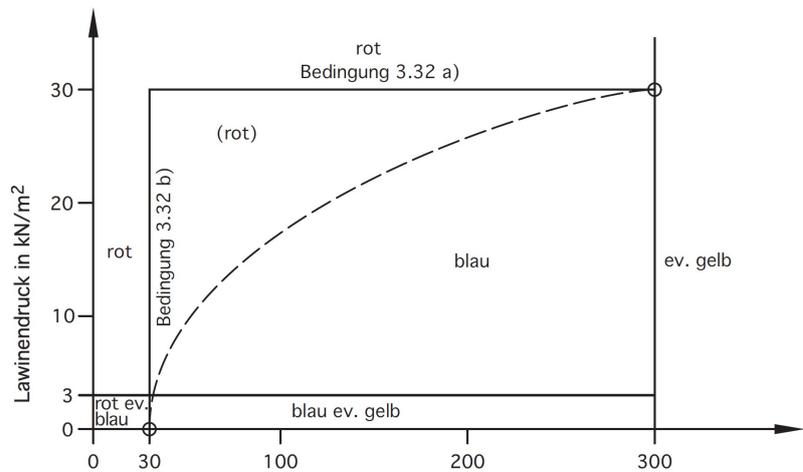


Abbildung 1: Kriterien der Lawinengefahrenzonen (aus BFF, EISLF 1984).

publiziert. Die zu verwendenden Kriterien für die Gefahreinstufung und die Überlegungen dazu sind in Margreth (2019) beschrieben. Neben den Kriterien wurden gleichzeitig auch die Darstellungsmittel für Lawinengefahren festgeschrieben. Sie präjudizierten die späteren analogen Empfehlungen für die anderen Gefahrenprozesse.

### 1987: Systematische Unwetteranalyse und sektorenübergreifendes Arbeiten

Im Sommer 1987 wurden die Alpenländer von schweren Unwettern heimgesucht, die zu verheerenden Hochwassern mit Überschwemmungen, Murgängen und Erdbeben führten. Die Unwetter richteten in der Schweiz Schäden von über 1200 Mio Franken an (BWW, BUWAL 1991). So war die Gotthardstrecke der SBB während 19 Tagen ausser Betrieb (Abb. 2), und die Talspur der Gotthard-Nationalstrasse musste wegen eines unterspülten Pfeilers ebenfalls gesperrt werden. Diese und viele andere Schäden zeigten die Verletzlichkeit bedeutender Infrastrukturen. Deshalb veranlasste der Bund eine umfassende Ursachen- und Ereignisanalyse (BWW, BUWAL 1991). An diesen Arbeiten beteiligten sich die ETH, kantonale Hochschulen, Bundes-

ämter und kantonale Fachstellen sowie private Büros. Der gemeinsame Fokus und die Koordinationserfordernisse dieser Aufgabe haben das sektorenübergreifende Denken und Arbeiten erheblich gefördert.



Abbildung 2: Unwetterschäden in Gurtellen im August 1987 (Kanton Uri). Bild: SBB Naturgefahren

Die Ursachenanalyse und zahlreiche Diskussionen in Fachgremien und der Öffentlichkeit führten zu folgenden Erkenntnissen und Forderungen:

- Ein vollständiger Schutz vor Naturgefahren ist nicht möglich.
- Bauliche Massnahmen allein genügen nicht.
- **Die Raumnutzung muss sich besser den natürlichen Gegebenheiten anpassen!**
- Die Raumplanung muss darauf hinwirken,

dass die Gewässer den nötigen Raum (zurück-)erhalten!

**Gefahrenkarten müssen ausgearbeitet und Schutzziele formuliert werden!**

- Der Überlastfall ist zu berücksichtigen!
- Mit Notfallplanungen sind die Restrisiken zu begrenzen!

Ausserdem wurde bereits damals den möglichen Folgen des Klimawandels ein eigenes Kapitel gewidmet (Petrascheck, Schädler 1991).

## Aufbruch nach 1987 (Gesetze, Fachvereine, strategische Plattform)

Zwei Bundesgesetze nahmen 1991 die oben genannten Forderungen in ähnlich lautenden Artikeln auf. Sie sind in Tab. 1 stichwortartig aufgelistet. Die entsprechenden Bundesämter und kantonalen Fachstellen sind seither zu koordiniertem Handeln aufgefordert.

Gleichzeitig entstehen Fachvereine mit Mitgliedern aus Verwaltung, Privatwirtschaft, Forschungsanstalten und Hochschulen:

- 1992 wird der Verein «Forstliche Arbeitsgruppe Naturgefahren» (FAN) gegründet. Er entstand aus der «Forstlichen Arbeitsgruppe für Wildbach- und Hangverbau», die seit 1980 unter der Ägide der WSL Weiterbildungskurse ausschliesslich für Forstingenieure durchgeführt hatte. Die FAN hat sich zunehmend auch anderen Fachleuten aus dem In- und Ausland geöffnet und 2004 den Namen in «Fachleute Naturgefahren» (FAN) geändert. Sie führt jährlich eine Vortragsveranstaltung und einen Geländekurs zu einem breiten Spektrum an Fragen im Umgang mit Naturgefahren und -risiken durch. Dabei werden immer wieder Grundlagen für Bundesempfehlungen erarbeitet und diskutiert. 2019 hat die FAN im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) einen ersten umfassenden einwöchigen Praxis-

Tabelle 1: Zwei Bundesgesetze und nachfolgende Verordnungen mit ähnlichen Wortlauten.

Waldgesetz 1991 (WaG 1991, WaV 1992)	Wasserbaugesetz 1991 (WBG 1991, WBV 1994)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Kantone sichern zum Schutz von Menschen oder erheblichen Sachwerten Lawinenanriss-, Rutsch-, Erosions- und Steinschlaggebiete und sorgen für forstlichen Bachverbau.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Kantone gewährleisten den Hochwasserschutz nicht zuletzt durch raumplanerische Massnahmen.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Kantone erarbeiten Grundlagen (<u>Gefahrenkataster</u> und <u>-karten</u>) unter Berücksichtigung der technischen Richtlinien des Bundes. Sie berücksichtigen die Grundlagen bei allen raumwirksamen Tätigkeiten.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der Bund leistet Abgeltungen für Hochwasserschutz einschliesslich Erstellung von <u>Gefahrenkatastern</u> und <u>Gefahrenkarten</u>.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abgeltungen werden nur gewährt, wenn die vorgesehenen Massnahmen auf einer zweckmässigen Planung beruhen.</li> </ul>

kurs Naturgefahren primär für Berufseinsteiger organisiert. ([www.fan-info.ch](http://www.fan-info.ch))

- 1994 wurde die «Konferenz für Hochwasserschutz» (KOHS) im Schweiz. Wasserwirtschaftsverband (SWV) gegründet. Sie vereinigte Wasserbaufachleute aus Verwaltung, Privatwirtschaft, Forschungsanstalten und Hochschulen. Ziel war, die Philosophie des neuen Wasserbaugesetzes des Bundes verständlich zu machen und in die Tat umzusetzen. Die KOHS figuriert seit 2000 als «Kommission des Fachbereichs Hochwasserschutz und Wasserbau» im SWV. Neben Facharbeiten für die Praxis stehen mit den jährlichen KOHS-Tagungen und Weiterbildungskursen vor allem die Ausbildung und der Fachaustausch der Wasserbauer im Vordergrund. ([www.swv.ch](http://www.swv.ch))
- 1995 bildete sich innerhalb der Schweiz. Fachgruppe für Ingenieurgeologie (SFIG) eine Arbeitsgruppe Geologische Naturgefahren (AGN). Sie setzt sich aus privatwirtschaftlich tätigen Ingenieurgeologen zusammen. Nach der Erarbeitung von Kriterien und Methoden für die Beurteilung von Massenbewegungen erstellt sie heute primär Oberexpertisen bei schwierigen und kontrovers diskutierten geologischen Prob-

lemen. ([www.chgeol.org](http://www.chgeol.org))

Es war am Rande des FAN-Kurses «Ganzheitliche Gefahrenbeurteilung» 1994 in Poschiavo, als sich Vertreter des Bundesamtes für Wasserwirtschaft (BWW), der Eidg. Forstdirektion sowie der Landeshydrologie und -geologie mit den Präsidenten von FAN und KOHS, den Direktoren des SWV und der WSL trafen. Hier wurde einer der Grundsteine für die «Nationale Plattform Naturgefahren» PLANAT gelegt, die seit 1997 den strategischen Rahmen u.a. für die nachstehend beschriebenen Entwicklungen im Bereich Gefahrenbeurteilung und Gefahrenkarten formiert. (Siehe dazu [www.planat.ch](http://www.planat.ch))

## Harmonisierung von Gefahrenbeurteilung und Gefahrenkarten

Auf fachlicher Ebene galt es angesichts der neuen Gesetze (Tab. 1), vergleichbare Verfahren und Kriterien für die Gefahrenbeurteilung und die Erstellung von Gefahrenkarten zu erarbeiten. Dies geschah in Arbeitsgruppen mit erfahrenen Praktikern unter Leitung der Bundesämter mit ihren Fachspezialisten A. Petrascheck (BWW), R. Baumann und O. Lateltin (BUWAL).

Mit OFI (1975), bzw. BFF, EISLF (1984) bestanden bezüglich Lawinengefahrenkarten seit gut 15 Jahren diverse Vorgaben, u.a. die Einstufungskriterien gemäss Abb. 1 (siehe dazu Margreth 2019). Diese sollten nach fast zwei Jahrzehnten mehr oder weniger bewährter Praxis nicht in Frage gestellt werden.

Über die Farbgebung rot, blau, gelb, weiss bestand bald Einigkeit, ebenso über das Prinzip von Buchstabenindizes zur Bezeichnung der Gefahrenarten in synoptischen Gefahrenkarten. Zu diskutieren gaben die Einführung der gelbweissen Schraffur für Restgefahren (seltener als 300-jährlich).

Bezüglich Festlegung von Häufigkeitsklassen (Wiederkehrdauern) bzw. Wahrscheinlich-

keitsklassen verwendeten und verwenden die Lawinenfachleute traditionell die «Ankerpunkte» 30-jährlich und 300-jährlich (Abb. 1). Die Begründungen werden in Margreth (2019) beschrieben. Für diese Wiederkehrdauern werden die Lawinendrucke und Auslaufdistanzen berechnet. Dieselben Wiederkehrdauern wurden auch für die anderen Gefahren beibehalten. Da es für die Gefahrenstufung sinnvoll schien, zwischen 30-jährlich und 300-jährlich noch eine Unterteilung zu machen und weil im Wasserbau traditionell oft auf 100-jährliche Ereignisse ausgebaut wird, wurde der zusätzliche «Ankerpunkt» 100-jährlich eingeführt.

Eine grosse Herausforderung war die Festlegung der Intensitätskriterien der verschiede-

nen Prozesse in ihren Wirkungsgebieten: Für sämtliche Teilprozesse mussten praktikable Kriterien gefunden werden, die sich an der möglichen Schadenwirkung orientieren, wie sie sich für die Lawinenwirkung mit dem Lawinendruck bereits bewährt hatten (Margreth 2019). Einigkeit bestand darin, dass Sturz- und Rutschgefahren im Gegensatz zur Österreichischen Praxis ebenfalls mit Gefahrenstufen in die synoptischen Gefahrenkarten Eingang finden müssen. Die in Tab. 2 aufgelisteten heute gültigen Kriterien entsprechen weitgehend den in den 1990er Jahren festgelegten Kriterien. Präzisierungen wurden seither bei den Rutschungen auf Vorschlag der AGN vorgenommen (BAFU 2016b).

Tabelle 2: Heute gültige Intensitätskriterien gemäss Datenmodell Gefahrenkartierung (BAFU 2017).

Prozessart	schwache Intensität	mittlere Intensität	starke Intensität
<b>Darstellung in Intensitätskarten</b>	normalerweise hellgrün	normalerweise grün	normalerweise dunkelgrün
<b>Lawinen</b> <i>p</i> Lawinendruck	$0 \text{ kN/m}^2 < p \leq 3 \text{ kN/m}^2$	$3 \text{ kN/m}^2 < p \leq 30 \text{ kN/m}^2$	$p > 30 \text{ kN/m}^2$
<b>Überschwemmung</b> <i>v</i> Fließgeschwindigkeit <i>h</i> Ablagerungshöhe	$0 \text{ m} < h \leq 0.5 \text{ m}$ oder $0 \text{ m}^2/\text{s} < v \cdot h \leq 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$	$0.5 \text{ m} < h \leq 2 \text{ m}$ oder $0.5 \text{ m}^2/\text{s} < v \cdot h \leq 2 \text{ m}^2/\text{s}$	$h > 2 \text{ m}$ oder $v \cdot h > 2 \text{ m}^2/\text{s}$
<b>Übermuring</b>		$0 \text{ m} < h \leq 1 \text{ m}$ und/oder $0 \text{ m/s} < v \leq 1 \text{ m/s}$	$h > 1 \text{ m}$ und $v > 1 \text{ m/s}$
<b>Ufererosion</b> <i>d</i> mittlerer Mächtigkeit der Ablagerung	$0 \text{ m} < d \leq 0.5 \text{ m}$	$0.5 \text{ m} < d \leq 2 \text{ m}$	$d > 2 \text{ m}$
<b>Permanente Rutschungen</b> <i>v</i> Gleitgeschwindigkeit	$0 \text{ cm/j} < v \leq 2 \text{ cm/j}$	$2 \text{ cm/j} < v \leq 10 \text{ cm/j}$	$v > 10 \text{ cm/j}$
<b>Spontane Rutschungen</b> <i>M</i> Anrissmächtigkeit <i>h</i> Ablagerungshöhe	$0 \text{ m} < M \leq 0.5 \text{ m}$	$0.5 \text{ m} < M \leq 2 \text{ m}$ oder $0 \text{ m} < h \leq 1 \text{ m}$	$M > 2 \text{ m}$ oder $h > 1 \text{ m}$
<b>Hangmuren</b> <i>M</i> Anrissmächtigkeit <i>h</i> Ablagerungshöhe	$0 \text{ m} < M \leq 0.5 \text{ m}$	$0.5 \text{ m} < M \leq 2 \text{ m}$ oder $0 \text{ m} < h \leq 1 \text{ m}$	$M > 2 \text{ m}$ oder $h > 1 \text{ m}$
<b>Sturz</b> <i>E</i> Energie des Sturzkörpers	$0 \text{ kJ} < E \leq 30 \text{ kJ}$	$30 \text{ kJ} < E \leq 300 \text{ kJ}$	$E > 300 \text{ kJ}$

Neben der Wahl der physikalischen Grössen und der zuzuordnenden Zahlenwerte gab auch die Einteilung in Teilprozesse und deren Bezeichnung zu Diskussionen Anlass. Zum Beispiel wurde der Begriff «Hangmure» neu geschaffen, um (zäh-)flüssige Massenbewegungen an Hängen (im Volksmund oft «Erdloui») von Murgängen in Gerinnen zu unterscheiden. Ausserdem musste ein Abgleich mit den Terminologien der anderen Landessprachen erfolgen.

Aus den Diskussionen in den Arbeitsgruppen entstand das in Abb. 3 dargestellte Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagramm zur Bestimmung der Gefahrenstufen bzw. der entsprechenden Farben. Die Diagonalen in den Feldern 2, 4 und 6 in diesem «Urdiagramm» waren als Möglichkeit für begründetes Ermessen gedacht, im Sinne von «je wahrscheinlicher und je intensiver der betrachtete Prozess, desto eher soll die höhere Gefahrenstufe (Farbe oben links im Feld) zugeordnet werden». Dieser Ermessensspielraum wurde in der Folge je nach Prozess und je nach Kanton zunehmend reguliert. So wurde u.a. bei den Lawinengefahren für jedes Feld je nach Teilprozess die Farbe klar zugeordnet (siehe dazu Margreth 2019, Abb. 3). Bei den Wildbächen wird z.T. zwischen «brutalen» Prozessen (Murgänge = eher rot statt blau) und «graduellen» Prozessen (Überschwemmung = eher blau statt rot oder gelb statt blau) unterschieden. Die Umschreibung der Gefahrenstufen und ihre Bedeutung für Raumplanung und Bau- bzw. Bewilligungsverfahren ist auch in Margreth (2019, Tab. 1) beschrieben.

Die Berücksichtigung der Besonderheiten von permanenten Rutschungen (Wahrscheinlichkeit = 100%) und den Fels- und Bergstürzen (Intensität immer stark) ist in Abb. 4 illustriert.

Die so vereinheitlichten Grundsätze und Kri-

terien für die Gefahrenbeurteilung und Erstellung von Gefahrenkarten fanden Niederschlag in BWW, BRP, BUWAL (1997) und BAFU (2016b).

### Weiterentwicklung der Methodik

Bei der Festlegung der Intensitätskriterien bzw. der zu verwendenden Grössen gemäss Tab. 2 wurden immer auch die Praktikabilität durch Berechnungen und gutachterliche Beurteilung (im Gelände) diskutiert. Es bestand und besteht Einigkeit darüber, dass die Gefahrenbeurteilung grundsätzlich immer rückblickend (überlieferte Ereignisgeschichte, «stumme Zeugen» im Gelände) und natürlich vorausschauend (Hinweise und Indikatoren im Gelände, Modellrechnungen/Simulationen) basieren muss. Die Notwendigkeit besserer Grundlagen für Ereignisdokumentation, Geländeaufnahmen und Berechnungen/Simulationen war schon früher erkannt worden, und Forschungsanstalten, Hochschulen und Praktiker arbeiteten längst daran.

Heute finden Gefahrenbeurteilungen zur Erstellung von Gefahrenkarten in der Schweiz unter mehr oder weniger klaren Vorgaben statt. Massgebend sind im Besonderen die «Empfehlungen» und «Vollzugshilfen» sowie im einzelnen konkreten Fall das jeweilige Pflichtenheft des Auftraggebers (Kanton, Gemeinde). All diese Grundlagen sind massgeblich in den oben erwähnten Arbeitsgruppen

entwickelt worden.

Die Auswertung der Ereignisdokumentation und die iterative Arbeit zwischen Geländeaufnahmen und Berechnungen/Simulationen sowie sorgfältige Szenarienbildung sind heute wesentliche Grundpfeiler der Gefahrenbeurteilung.

#### • Ereignisdokumentation:

Bekannte, gut dokumentierte (Film, Bild, Karte, schriftliche oder mündliche Beschreibungen) frühere Ereignisse stellen im Prinzip unwiderlegbare Fakten dar. Sie sind bei Diskussionen um Abgrenzung von Gefahrengebieten und -einstufungen (z.B. zwischen Gefahrenexperten und Gemeindebehörden) wichtige Argumentationshilfen. Selbstverständlich müssen die überlieferten Ereignisse verifizierbar und zumindest plausibel sein. Ausserdem muss immer geklärt werden, ob sie nicht infolge Veränderungen im Gelände und / oder veränderter Disposition der entsprechenden Gefahrenprozesse ihre Aussagekraft verloren haben.

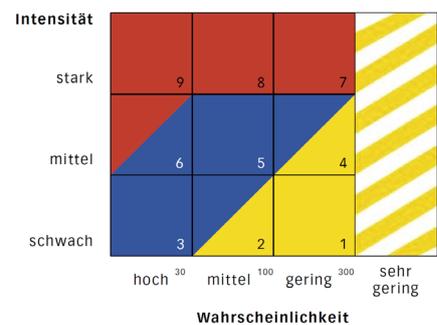


Abbildung 3: Allgemeines Gefahrenstufendiagramm (aus ARE et al. 2005).

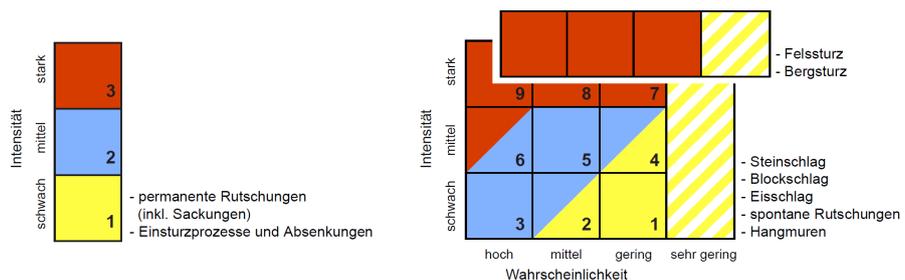


Abbildung 4: Gefahrenstufendiagramme für permanente Prozesse (links) und spontane Massenbewegungsprozesse (rechts) (aus BAFU (2016b)).

Bezüglich Ereigniskataster wurde auf Drängen der mit Gefahrenbeurteilungen beauftragten Experten (u.a. Mani, Zimmermann 1992) und der oben genannten Fachvereine die in den Gesetzen und Verordnungen (Tab. 1) geforderte systematische Dokumentation von Ereignissen durch die Kantone an die Hand genommen. Unter Federführung des Privatbüros Geotest AG wurden die Grundlagen zur Erstellung des Gefahrenkatasters StorMe entwickelt. StorMe ist heute die schweizweit zentrale Datenbank für die Erfassung und Verwaltung von Naturereignissen für die Prozesse Wasser, Rutschung, Sturz und Lawine (siehe dazu PLANALP, BAFU 2006; BAFU 2019). Der Ereigniskataster wird durch die Kantone, durch Betreiber von Infrastrukturen und weiteren (u.a. WSL) gespeist. Verschiedene Kantone haben zusätzlich frühere, historische Ereignisse nacherfasst.

• **Geländeaufnahmen** (effektive Geländebegehungen, Anwendung von Fernerkundung):

Es gilt,

- einerseits (rückwärts blickend) Spuren früherer Ereignisse (sog. «stumme Zeugen») zu lesen, im Gelände photographisch zu dokumentieren und wo sinnvoll in eine «Karte der Phänomene» (BWW, BUWAL, 1995) einzutragen und
- andererseits (vorwärts blickend) kritische (oder spezielle) Situationen/Konstellationen topographischer, geomorphologischer, geologischer, hydraulischer und/oder anderer Elemente und Prozesse zu erkennen, zu beurteilen und zu dokumentieren.

Daraus lassen sich Hinweise ableiten auf:

- Disposition und mögliche Auslösemechanismen für (neue) Gefahrenprozesse
- Mögliche (ggf. auch neu- oder andersartige) Prozessabläufe und Wirkungen
- (neue) Schlüssel- oder Schwachstellen

Bezüglich topographischer und geologischer Grundlagen (z.B. digitale Geländemodelle, Hillshade-Darstellungen) sowie der Fernerkundungsmethoden (optisch, LIDAR, INSAAR etc.) ist seit der Erarbeitung der ersten Empfehlungen und Vollzugshilfen in den 1990er Jahren eine revolutionäre Entwicklung im Gange, welche die Geländeaufnahmen erheblich unterstützen. Dies gilt auch für den Einsatz von Drohnen zur Gewinnung von Übersichten in schwer zugänglichem Gelände und für Vermessungsaufgaben. Angesichts dieser erfreulichen Entwicklung und der nachstehend skizzierten Verbesserung der Berechnungsmodelle besteht jedoch die «Gefahr», dass die aufwändigen Geländebegehungen zu sehr in den Hintergrund rücken (u.a. Frick et al. 2018).

• **Berechnungen/Simulationen:**

Die Fortschritte in den Beobachtungs- und Messmethoden und damit die verbesserte differenzierte Erfassung von Materialverhalten und Kinetik sowie höher aufgelöste Geländemodelle haben in den vergangenen Jahrzehnten die Erarbeitung neuer und besserer Berechnungsmodelle für Naturgefahrenprozesse ermöglicht (siehe dazu u.a. Margreth 2019). Verifikationen im Gelände und anhand früherer Ereignisse zeigen – bei richtiger Kalibrierung der Modelle – gute Übereinstimmung mit anderen Befunden. Mit Variation der Eingabeparameter können Sensitivitätsanalysen sowie Simulationen unter anderen Umweltbedingungen (u.a. Klimawandel) durchgeführt werden.

• **Szenarienbildung und Iteration:**

Wegen der Vielfalt und Komplexität der möglichen Prozessabläufe muss bei der Gefahrenbeurteilung mit Szenarien gearbeitet werden. In erster Linie sind möglichst klare Vorstellungen über die potenziellen Prozessabläufe, d.h. qualitative Szenarien wichtig. Erst auf dieser Basis können vor allem bei

Sturz- und (spontanen) Rutschprozessen sowie Wildbächen adäquate Szenarien für die vorgegebenen mittleren Wiederkehrdauern formuliert und quantifiziert (Intensitäten) werden (Kienholz et al. 2007). Bei Gewässern mit Abflussdaten sowie bei Lawinen (+/- normierte Eingaben und Berechnungen von Anrissmächtigkeiten) können dagegen direkt Modellrechnungen zu Intensitäten bei den vorgegebenen Wiederkehrdauern erfolgen. Deren Ergebnisse müssen selbstverständlich verifiziert und im Gelände kontrolliert werden.

Für die Erstellung von Gefahrenkarten werden Szenarien für folgende festgelegte Wiederkehrperioden erstellt: 30, 100, 300 Jahre und – heute seitens BAFU gefordert – Extremszenario.

Szenarienbildung und Gefahrenbeurteilungen erfordern ein iteratives Vorgehen zwischen Berechnungen/Simulationen und Geländeaufnahmen unter Berücksichtigung der Ereignisdokumentation.

• **Berücksichtigung von Schutzmassnahmen:**

Wie weit sind vorhandene Schutzbauten und deren Zustand bei der Beurteilung von Gefahrenprozessen und der Szenarienbildung einzubeziehen? Wie weit kann auf die Angaben in lokalen Dokumentationen bzw. – später – im kantonalen Schutzbautenkataster abgestellt werden?

Der Wunsch nach Klärung wurde 2002 von der FAN aufgenommen. Sie erarbeitete in Workshops die ersten Grundlagen. Auf dieser Basis wurde schliesslich durch die WSL im Auftrag der PLANAT und des BAFU «ein generelles Vorgehen entwickelt, welches die vergleichbare und nachvollziehbare Beurteilung von Schutzmassnahmen im Rahmen von Gefahrenbeurteilungen ermöglicht» (Romang Ed. 2008). Abb. 5 zeigt mit dem grundsätzlichen Entscheidungsdiagramm

zur Bestimmung der Zuverlässigkeit von Einzelbauwerken oder Gesamtsystemen nur ein kleines Beispiel aus dem umfangreichen Handbuch, das für alle Gefahrenprozesse und viele Gesamtsysteme und Bautypen Entscheidungshilfen liefert.

**Die Produkte: Intensitätskarten, Einzel- und synoptische Gefahrenkarten**

Intensitätskarten zeigen die Intensitätsstufen der betroffenen Flächen pro Prozess und Wahrscheinlichkeitsklasse. Die Intensitätsstufen sind gemäss den Kriterien in Tab. 2 definiert. Abb. 6 zeigt die Intensitätskarten «Wasser» der Prozessquellen Eybach und Thunersee (Uferbereich am oberen Bildrand). Bei den Intensitätskarten 100- und 300-jährlich erfolgt am linken Bildrand noch eine Überlagerung durch einen weiteren Wildbach.

Verschiedene Ereignisse haben gezeigt, dass auch in gelben und gelb-weiss-gestreiften Gebieten (im Beispiel Leissigen nicht relevant) hohe Schäden auftreten können. Eine risikogerechte Raumplanung (PLANAT 2015) trägt diesen Erkenntnissen Rechnung, indem bei Baubewilligungen auch Auflagen in den gelben und gelb-weissen Gefahrengebieten zu prüfen sind.

Für die Umsetzung in die Nutzungspläne der Gemeinden ist in den Leitsätzen von ARE et al. (2005) u.a. festgehalten:

- «Im Zonenplan sollten für alle Gefahrengebiete (rot, blau, gelb, gelbweiss) Gefahrenzonen ausgeschieden werden.»
- «Die Gefahrenkarten sollten möglichst unverändert im Zonenplan übernommen werden.»

In der Praxis geschieht dies je nach Kanton (und Gemeinde) auf unterschiedliche Art und Weise (ein Beispiel zeigt Margreth 2019, Abb. 5).

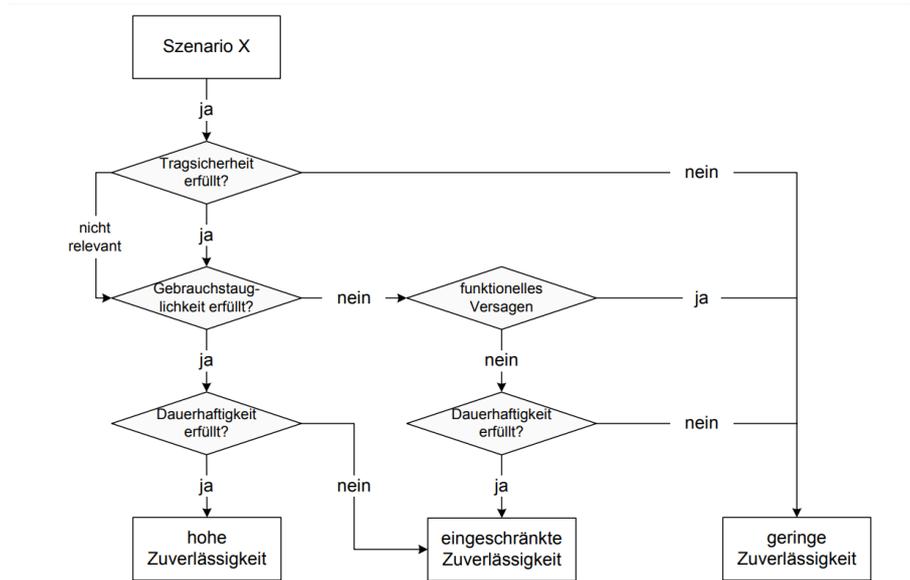


Abbildung 5: Bestimmung der Zuverlässigkeit aufgrund von Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit (aus Romang Ed. 2008).

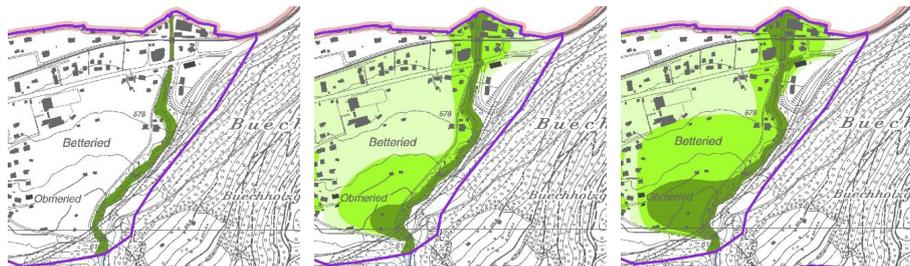


Abbildung 6: Intensitätskarte Wasser (30-, 100-, 300-jährlich) (Ausschnitt östliche Wildbäche in Leissigen am Thunersee) (© Kanton Bern).

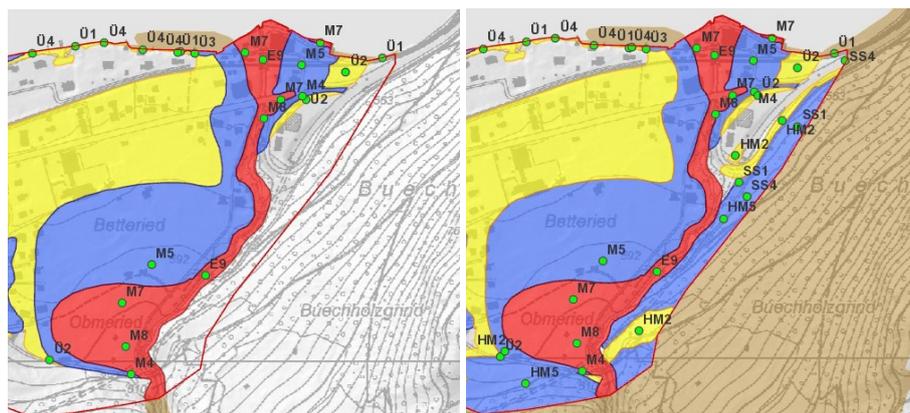


Abbildung 7: Einzelgefahrenkarte Wasser (links) und synoptische Gefahrenkarte (rechts) des östlichen Dorfteils von Leissigen am Thunersee. U = Überschwemmung / Übersarung (Bäche und See), M = Murgang, HM = Hangmure; SS = Steinschlag / Blockschlag; Ziffern und die Farben rot, blau, gelb beziehen sich auf die Felder des Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagramms (Abb. 3). Die braunen Gebiete ausserhalb des eingegrenzten Beurteilungspereimeters (rote Linie) sind Gefahrenhinweisbereiche auf der ausschliesslichen Basis von Modellrechnungen. (© Geoportail Kanton Bern)

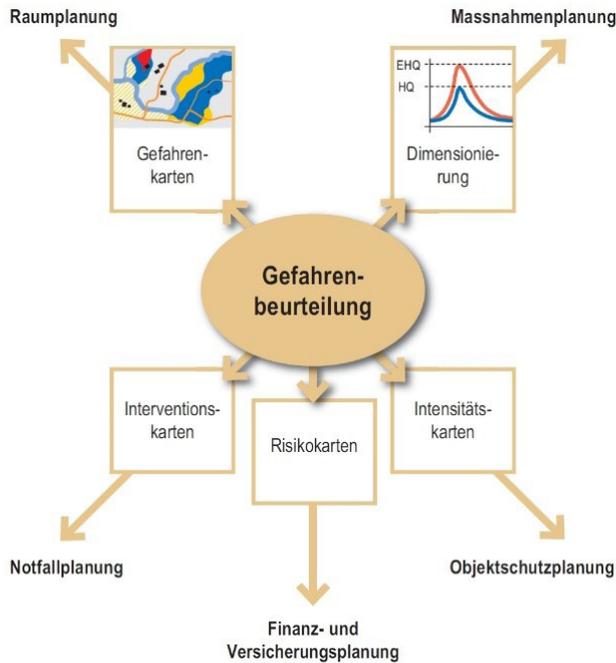


Abbildung 8: Gefahrenbeurteilung als Grundlage zur Abdeckung verschiedener Bedürfnisse (aus Bezzola, Hegg 2007).

### «Übernutzung» der Gefahrenkarten

Dank den Gefahrenkarten entstand generell ein Bewusstsein für die Bedeutung von gefahrenbezogenen Grundlagen. Deshalb wurde und wird versucht, weitere nicht direkt mit der Raumplanung verknüpfte Bedürfnisse mit Hilfe der Gefahrenkarten abzudecken. Dies ist jedoch problematisch, weil bei der Übersetzung der Ergebnisse der Gefahrenbeurteilung in die Gefahrenkarte Informationen verloren gehen, die für andere Fragestellungen von Bedeutung sind. Andere Informationen werden wegen der primären Ausrichtung auf die Gefahrenkarte zum Teil gar nicht erhoben. Bezzola, Hegg (2007) stellen deshalb die Gefahrenbeurteilung ins Zentrum und zeigen in Abb. 8 die Gefahrenkarte als ein Produkt unter verschiedenen.

### Gefahrenhinweiskarte Oberflächenabfluss

Grund- und Hangwasserprozesse werden normalerweise weder in Gefahrenkarten ausgewiesen noch durch raumplanerische

Massnahmen berücksichtigt. Sie können nicht durch wasserbauliche Massnahmen beeinflusst werden. Auf Wunsch einzelner Gemeinden wurden jedoch im Kanton Bern bereits in den 1990er Jahren relevante Hänge mit potenziell erheblichem Oberflächenabfluss mit Pfeilsignaturen gekennzeichnet.

Dank der hohen Qualität der digitalen Geländemodelle und Fortschritten in der Simulationstechnik erarbeitete das Privatbüro geo7 im Auftrag des BAFU, dem Schweizerischen Versicherungsverband SVV und der Vereinigung Kantonalen Gebäudeversicherungen VKG eine schweizweite Gefährdungskarte Oberflächenabfluss. Das Produkt zeigt über die gesamte Schweiz die potenziell durch Oberflächenabfluss gefährdeten Gebiete und die dort zu erwartenden klassierten Fliesstiefen auf.

Seit 2018 steht die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss auf dem Geoportal des Bundes ([www.map.geo.admin.ch](http://www.map.geo.admin.ch)) zur Verfügung: Die Karte ist eine Hinweiskarte und hat keine Rechtsverbindlichkeit: Die ausgeschiedenen Hinweisflächen basieren auf Modellierungsergebnissen ohne Verifikation der Einzelsituation

im Gelände.

### Zur Umsetzung in Raumplanung und Baubewilligungsverfahren

In ARE et al. (2005) werden die Grundsätze zur Berücksichtigung der Naturgefahren und –risiken ausführlich beschrieben und mit Fallbeispielen aus Kantonen und Gemeinden illustriert. In der Schweiz sind primär die 26 Kantone für die Raumplanung zuständig, wobei der jeweilige behördenverbindliche kantonale Richtplan das Hauptinstrument ist. Letztlich ist es jedoch die Gemeinde, die in der Nutzungsplanung die verschiedenen Nutzungszonen im Zonenplan parzellengenau ausscheidet und das Bau- und Zonenreglement grundeigentümerverbindlich festlegt. Allein aus dieser föderalen Organisation lässt sich schliessen, dass die Umsetzung der Raumplanung und der Einbezug der Naturgefahren je nach Kanton und Gemeinde in unterschiedlicher Konkretisierung und in unterschiedlichem Tempo voranschreiten.

Trotz vieler guter Beispiele gibt es raumplanerisch und vor allem in den Baubewilligungsverfahren nach wie vor erhebliche Defizite. Der Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein (SIA) schreibt auf seiner Website <http://www.sia.ch/de/themen/naturgefahren/> (abgerufen 24.09.2019): «Viele Schäden aufgrund von Naturgefahren beruhen auf Fehlplanungen, die im Grunde vermeidbar gewesen wären. Um das naturgefahrengerechte Planen und Bauen zu fördern, hat der SIA das Thema Naturgefahren zum Kernthema erklärt und erste Handlungsfelder definiert.»

Neben den mit Naturrisiken befassten Bundesämtern und kantonalen Fachstellen, der PLANAT und dem SIA arbeiten der Schweizerische Versicherungsverband (SVV), die Vereinigung Kantonalen Gebäudeversicherungen (VKG) und der Interkantonale Rückversicherungsverband (IRV) an einer Verbesserung der Situation.

## Fazit

Obschon immer noch Wünsche nach besseren Grundlagen und Methoden bestehen, sind in der Schweiz Gefahrenbeurteilungen und Gefahrenkarten heute technisch auf einem sehr hohen Stand. Es gilt, diesen Stand zu halten und mögliche Verbesserungen wahrzunehmen. Dabei muss anerkannt werden, dass der Blick in die Zukunft immer mit Unsicherheiten behaftet sein wird. Das betrifft auch die Herausforderungen des Klimawandels, die sich nicht nur aus Gletscherschwund und Permafrostauflösung, sondern u.a. auch aus verändertem Niederschlags- und Abflussgeschehen in den tieferen Lagen ergeben. Sie müssen bei der Gefahrenbeurteilung berücksichtigt werden.

Die Umsetzung in die Raumplanung und risikogerechte Baubewilligungsverfahren erfordern weiterhin grosse Anstrengungen. Es gilt, bestehende Risiken zu reduzieren und keine neuen entstehen zu lassen.

## Dank

Der Autor dankt folgenden Personen und Institutionen für Lektorat und Mithilfe:

Helen Gosteli (PLANAT), Nils Hählen (Amt für Wald, Abteilung Naturgefahren, Kanton Bern), Peter Mani (geo7, Bern), Stefan Margreth (WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF).

An Siegfried Sauer Moser und Susanne Mehlhorn (Schriftleitung der Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlag-schutz) geht unser Dank für die Erlaubnis, den Originalartikel (Kienholz H. 2019) mit gleichem Inhalt in die FAN-Agenda zu übernehmen.

## Literatur

ARE, BWG, BUWAL (2005). Empfehlung Raumplanung und Naturgefahren. Bundesamt für Raumentwicklung, Bundesamt für Wasser und Geologie, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 50 S. Bern.

Aulitzky H. (1973). Vorläufige Wildbach-Gefährlichkeits-Klassifikation für Schwemmkegel. 100 Jahre Hochschule f. Bodenkultur, Bd. IV, Teil 2: 114-117. Ver. z. Förderung d. forstl. Forschung in Österreich. Wien.

Aulitzky H. (1975): Beurteilung und Ausscheidung der Gefahrenzonen in den Alpen einschließlich der Tallagen. Interpraevent 1975, Bd. 2:159-187. Forschungsgesellschaft für vorbeugende Hochwasserbekämpfung. Klagenfurt.

BAFU 2016a. Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz. Bericht des Bundesrats in Erfüllung des Postulats 12.4271 Darbellay vom 14.12.2012. Bundesamt für Umwelt, Bern. 120 S.

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

BAFU (2017). Ruf W. Datenmodell Gefahrenkartierung, Identifikator 166.1. Geobasisdaten des Umweltschutzes. Bundesamt für Umwelt, Bern. [www.bafu.admin.ch/geodatenmodelle](http://www.bafu.admin.ch/geodatenmodelle)

BAFU (2019). Erfassungsrichtlinie StorMe 3.0. Entwurfsversion. Bern [www.bafu.admin.ch/storme](http://www.bafu.admin.ch/storme)

BFF, EISLF (1984). Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen

Tätigkeiten. Bundesamt für Forstwesen, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung. Bern und Davos.

Bezzola G. R., Hegg C. (Ed.). (2007): Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. 215 S. Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. 429 S. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707 bzw. 0825. Bern

Bundesbeschluss (1972). Bundesbeschluss vom 17. März 1972 über dringliche Massnahmen auf dem Gebiete der Raumplanung. Ersetzt durch RPG (1980). Systematische Sammlung des Bundesrechts (SR). Bern

Bundesblatt (1876). Bundesgesetz betreffend die eidgenössische Oberaufsicht über die Forstpolizei im Hochgebirge. Bundesblatt. Schweizerisches Bundesarchiv, Digitale Amtsdrukschriften.

Bunza G., Karl J. (1975). Erläuterung zur hydrographisch-morphologischen Karte der Bayerischen Alpen 1:25'000. Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft. Sonderheft. München.

BWW, BRP, BUWAL (1997). Petrascheck A., Loat R. Empfehlungen 1997: Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Raumplanung BRP, Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, heute BAFU. Bern

BRP, BWW, BUWAL (1997). Lateltin O. Empfehlungen 1997: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW, Bundesamt für Raumplanung BRP, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL,

- heute BAFU. Bern (Ersetzt durch BAFU 2016b). BWW, BUWAL (1991). Ursachenanalyse der Hochwasser 1987, Ergebnisse der Untersuchungen. Mitt. des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Nr.4, Mitt. der Landeshydrologie und -geologie, Nr. 14, EDMZ Form.-Nr.804.304. Bern.
- BWW, BUWAL (1995). Empfehlungen – Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene. Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. Reihe Naturgefahren. Bern.
- Coaz J. (1910). Statistik und Verbau der Lawinen in den Schweizeralpen. Im Auftrag des eidgenössischen Departements des Innern bearbeitet und veröffentlicht. Buchdruckerei Stämpfli & Cie. Bern.
- Culmann K. (1864). Bericht an den hohen schweizerischen Bundesrath über die Untersuchung der schweizerischen Wildbäche, vorgenommen in den Jahren 1858, 1859, 1860 und 1863. Zürich.
- Frick E., Gertsch E., Lehmann C. (2018). Relevanz der Geländeaufnahmen für Geschiebeabschätzungen in Wildbächen. Ingenieurbilogie 4/18. Rapperswil.
- Frutiger H. (1970). Der Lawinenzonenplan. Zeitschrift für Forstwesen, Bd. 121, H.4: 246-276.
- Frutiger H. (1980). Schweizerische Lawinengefahrenkarten. Interpraevent 1980, Bd. 3:135-143. Forschungsges. für vorbeugende Hochwasserbekämpfung. Klagenfurt.
- Hanausek E. (1975 a): Wildbach- und Lawinenschutz in Tirol. Hochwasser- und Lawinenschutz in Tirol: 108-128. Land Tirol in Tirol. (Hrsg.). Innsbruck.
- Hanausek E. (1975 b): Bisherige Erfahrungen in der Gefahrenzonenplanung in Tirol. Interpraevent 1975, Bd. 1:367-373. Forschungsges. für vorbeugende Hochwasserbekämpfung. Klagenfurt.
- Kanton Bern (1973). Gesetz über das Forstwesen vom 1. Juli 1973. Bern
- Kanton Graubünden (1971). Richtlinien zur Ausarbeitung von Gefahrenzonenplänen. Chur
- Kienholz H. (1977a). Kombinierte geomorphologische Gefahrenkarte 1:10 000 von Grindelwald. Mit Beiträgen von W. Schwarz. Geographica Bernensia, G 4, 204 pp., 4 Kartenbeilagen. Geogr. Inst. d. Univ. Bern.
- Kienholz H. (1977b). Kombinierte geomorphologische Gefahrenkarte 1:10 000 von Grindelwald. Gekürzte Fassung. Catena, Vol.3, No.3/4: 265-294. Giessen.
- Kienholz H, Gosteli H., Fässler M., Aeberhard S. (2007). Fachtechnische Analyse der Gefahrengrundlagen. P.197-219 in Bezzola G. R., Hegg C. (Ed.). (2007): Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0825. Bern
- Kienholz H. (2019). Gefahrenkarten in der Schweiz – Entwicklung und Umsetzung. Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz. H.184:62-77. Bregenz
- Lendi M. (2018). Geschichte und Perspektiven der schweizerischen Raumplanung. ISBN: 978-3-7281-3866-8, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 424 Seiten.
- Mani P., Zimmermann M. (1992). Dokumentation nach Unwetterereignissen: Vorschlag für eine Anleitung. Interpraevent 1992, Tagungs-
- publ., Bd.3: 121-130. Forschungsgesellschaft für vorbeugende Hochwasserbekämpfung. Klagenfurt.
- Margreth S. (2019). Lawinengefahrenkarten in der Schweiz. Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz. H.184.: 80-92. Bregenz.
- Moser M. (1973): Vorschlag zu einer vorläufigen Hangstabilitätsklassifikation mit Hilfe eines Gefährlichkeitsindex. 100 Jahre Hochschule f. Bodenkultur, Bd. IV, Teil 2: 159-168. Ver. z. Förderung d. forstl. Forschung in Österreich. Wien.
- OFI (1975). Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr beim Erstellen von Bauten und bei der Verkehrs- und Siedlungsplanung. Prov. Ausgabe, Eidg. Oberforstinspektorat. Bern.
- Petrascheck A., Schädler B. (1991). Einfluss von Klimaveränderungen auf das Hochwasserrisiko. In: BWW, BUWAL (1991). Ursachenanalyse der Hochwasser 1987, Ergebnisse der Untersuchungen. Mitt. des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Nr.4, Mitt der Landeshydrologie und -geologie, Nr. 14, p. 183-184. EDMZ Form.-Nr.804.304. Bern.
- PLANALP, BAFU, (2006). Dokumentation von Naturereignissen – Feldanleitung. 64 S. Plattform Naturgefahren der Alpenkonvention (Hrsg.). Innsbruck und Bern.
- PLANAT (2015). Risikobasierte Raumplanung. Synthesebericht zu zwei Testplanungen auf Stufe kommunaler Nutzungsplanung. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT Bundesamt für Umwelt, Bundesamt für Raumentwicklung. Bern.

Romang H. (ED.) (2008). Wirkung von Schutzmassnahmen. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT. Bern.

RPG (1980). Bundesgesetz über die Raumplanung (Raumplanungsgesetz, RPG, SR 700) vom 22. Juni 1979, Stand am 1. Januar 2019. Bern.

Voellmy A. (1955). Über die Zerstörungskraft von Lawinen. Schweiz Bauzeitung 73, Hefte 12, 15, 17 und 19. Zürich

WaG (1991). Bundesgesetz vom 4. Oktober 1991 über den Wald (Waldgesetz, WaG 1991, SR 921.0). Stand am 1. Januar 2017. Bern.

WaV (1965). Vollziehungsverordnung zum Bundesgesetz betreffend die Eidgenössische Oberaufsicht über die Forstpolizei. [SR 921.0]. Ersetzt durch WAV (1992).

WaV (1992). Verordnung über den Wald (Waldverordnung, WaV, SR 921.01) vom 30.11.1992, Stand am 1. Januar 2018. Bern.

WBG (1991). Bundesgesetz über den Wasserbau (Wasserbaugesetz / WBG, SR 721.100) vom 21. Juni 1991, Stand am 1. Januar 2011. Bern.

WBV (1994). Verordnung über den Wasserbau (Wasserbauverordnung / WBV, SR 721.100.1) vom 02.11.1994. Bern.

WEL (2014). 20-jähriges Bestehen der KOHS. Wasser Energie Luft.106. Jahrgang, Heft 2, p.164. Baden.

# Synthèse du cours d'automne 2019:

## Glissements spontanés et coulées boueuses - Où en sommes-nous? Quels besoins d'action?

Bernard Loup<sup>1</sup> ([bernard.loup@bafu.admin.ch](mailto:bernard.loup@bafu.admin.ch))  
Stephan Wohlwend<sup>2</sup> ([stephan.wohlwend@llv.li](mailto:stephan.wohlwend@llv.li))

<sup>1</sup> Office fédéral de l'environnement, Section glissements de terrain, avalanches et forêts protectrices, Berne  
<sup>2</sup> Amt für Bevölkerungsschutz, Abteilung Naturgefahren, Vaduz

### Introduction

Les mouvements de terrain superficiels tels que glissements spontanés et coulées boueuses sont des processus encore incomplètement appréhendés. De nombreuses incertitudes, si ce n'est d'inconnues, subsistent dans les domaines de la caractérisation des processus, de la dynamique, des modes de déclenchement, des actions attendues ou encore des mesures de réduction des risques, pour n'en citer que quelques-uns. Afin de dresser un bilan des connaissances et de pointer les approfondissements encore nécessaires, la FAN a dédié son cours d'automne 2019 à ce sujet (FAN 2019).

Le comité d'organisation du cours a présenté une rétrospective générale du cours dans le FAN-Agenda 2/2019 (Rittler et al. 2019). Nous proposons ici un bilan des questions qui se posent encore au niveau de la mise en œuvre (cantons, bureaux; partie 1 ci-dessous); les points soulevés sont ensuite étayés par les réponses données par les participant(e)s au sondage "Wo brennt's" réalisé en début de cours. Les réponses, encore partielles, qui ont pu être données par l'OFEV et ses partenaires dans le cadre de projets de recherche font l'objet de la partie 2. Enfin, en références aux échanges d'expériences durant le cours et aux résultats du sondage initial, les be-

soins d'action sont identifiés de même que les points à traiter en priorité (partie 3). Certains commentaires formulés dans l'évaluation ayant suivi le cours sont également repris.

### Partie 1

#### Difficultés dans l'évaluation des dangers de glissement de terrain spontané et de coulée boueuse

Du point de vue de la pratique et des organismes responsables de la mise en œuvre, plusieurs domaines d'action ont été identifiés. Petit tour d'horizon.

#### Problématique de la définition des processus et de leur évaluation

Les deux processus partiels, à savoir les petits glissements de terrain spontanés et les coulées boueuses de versant, sont des mouvements de terrain spontanés. Les critères de détermination de la disposition de base sont identiques pour ces deux processus partiels. Pourtant, la dynamique des processus est très différente, l'un étant un processus de glissement, l'autre un processus d'écoulement. La détermination des intensités pour les deux processus est également basée sur des critères identiques: l'épaisseur de la couche

mobilisable et la hauteur du dépôt. Conclusion: une définition utilisée de façon uniforme pour les deux processus partiels, pour l'application des critères d'intensité et pour la mise en œuvre dans les cartes de danger, fait encore défaut aujourd'hui.

#### Problématique de la disposition de base et des facteurs aggravants

La détermination de la disposition de base est souvent rudimentaire et généralisée, et donc souvent peu nuancée sur de grandes surfaces (figure 1). La raison en est le manque de données de base et d'analyses. En effet, outre la carte géologique, le cadastre des événements ou les témoins muets identifiables sur le terrain, les informations sur les propriétés géotechniques du sous-sol sont généralement manquantes. Il est indéniable que l'acquisition des paramètres géotechniques dépasserait presque toujours le cadre d'une carte de danger. Toutefois, des informations plus détaillées telles que rapports géotechniques, profils de forage, relevés de fouille et analyse des sols de fondation sont souvent disponibles; il est impératif de les consulter. Afin de réduire au minimum l'effort nécessaire à la collecte de ces informations, les services responsables des dangers naturels devraient se préoccuper davantage de la question de savoir comment ces informations pourraient être mises effi-

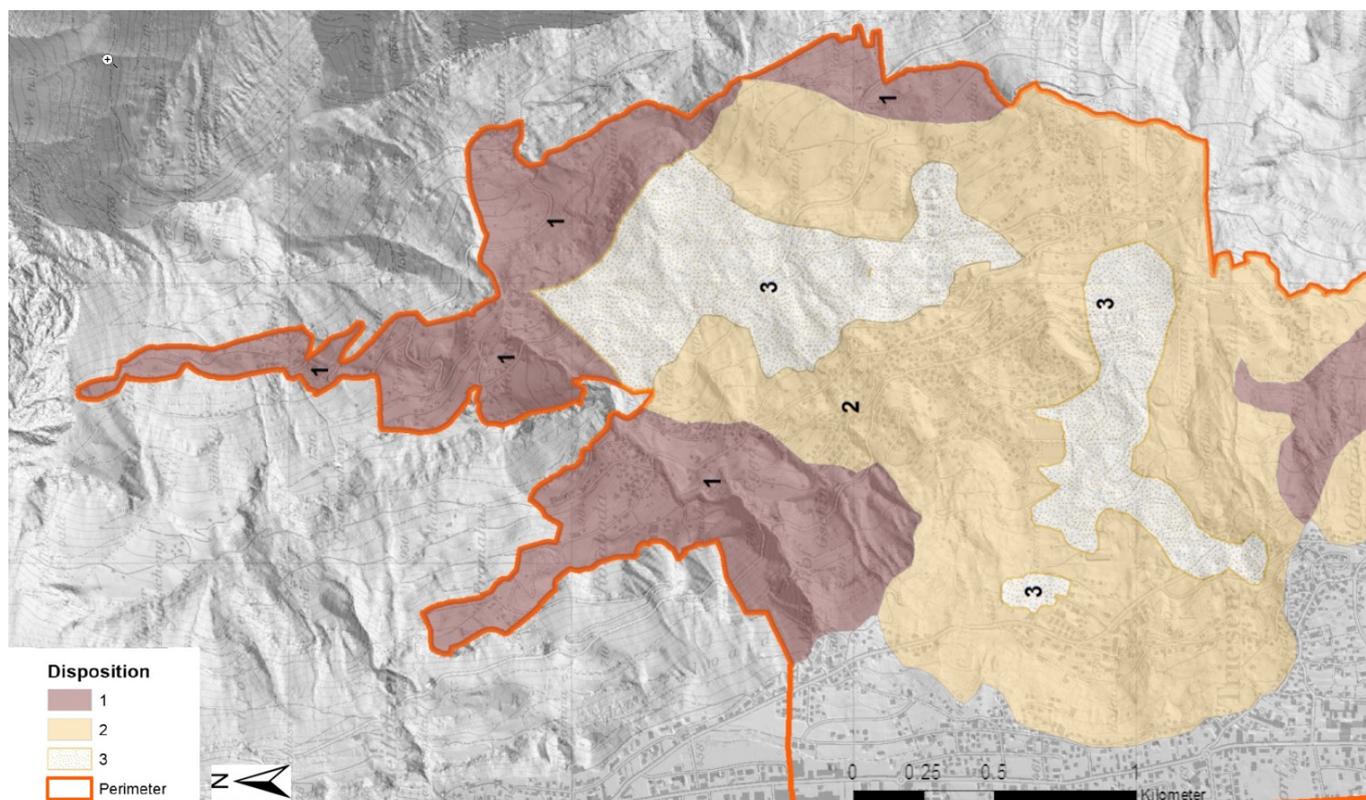


Figure 1: Exemple d'une détermination très généralisée et peu nuancée de la disposition de base.

cacement à disposition des spécialistes mandatés. Une solution pourrait consister en des bases de données de forages, basées sur SIG, ce au niveau cantonal ou national.

Le système de détermination des facteurs aggravants (OFEV 2016) permet de saisir systématiquement les facteurs les plus importants qui favorisent la survenance des coulées de boue. Toutefois, la description de leur influence et la définition des ordres de grandeur de cette influence sont insuffisantes. Afin de garantir une évaluation uniforme et reproductible, d'autres valeurs de référence spécifiques doivent être définies.

### Problématique des scénarios par classe de probabilité, intensité et zone de processus

La probabilité est déterminée à l'aide des facteurs aggravants, bien que ceux-ci soient définis indépendamment des événements

eux-mêmes. En théorie, ce système ne peut donc être utilisé que pour déterminer la probabilité d'occurrence. Il n'existe donc aucune base pour définir différents scénarios basés sur des événements de taille différente. En particulier, ce système ne permet pas d'établir la dépendance évidente à l'égard d'un événement de précipitation. En raison de cette lacune, les cartes d'intensité par classe de probabilité sont souvent insuffisamment différenciées, très similaires, voire identiques.

La détermination de l'intensité d'un processus vise principalement à quantifier les actions possibles sur un obstacle resp. un potentiel de dommage. En utilisant l'épaisseur de la couche mobilisable, les critères actuels permettent de déterminer correctement l'intensité dans la zone de décrochement. L'utilisation de la hauteur de dépôt dans la zone d'épanchement indique la hauteur d'impact du processus. Toutefois, cette valeur ne se corrèle pas né-

cessairement avec la force appliquée à l'objet concerné. Cette difficulté devient encore plus évidente dans la zone de transit des coulées de boue, où l'utilisation de l'épaisseur de la couche mobilisable et de la hauteur du dépôt n'est pas satisfaisante. L'utilisation de la force comme critère d'intensité serait plus pertinente, au moins pour la zone de transit ainsi que pour le début de la zone de dépôt.

Une condition préalable à la détermination de la zone d'influence des processus, et donc de la portée des coulées et glissements, est la décision de savoir si l'on doit s'attendre, ou non, à une liquéfaction de la masse mobilisée. Ainsi, indirectement, est également prise une option sur le processus dominant, soit des coulées de boue de versant, soit de petits glissements de terrain spontanés. La prochaine question fondamentale est de savoir si la détermination de la distance d'écoulement peut être effectuée de façon experte ou si une simu-

lation numérique pourrait donner de meilleurs résultats. Les modèles actuellement disponibles ne peuvent certainement pas remplacer de manière fiable une détermination experte de la zone d'épanchement, mais ils peuvent au moins livrer des ordres de grandeur ("champ des possibles"). L'utilisation d'une simulation numérique peut être particulièrement utile dans l'argumentation envers des propriétaires fonciers exposés aux dangers naturels selon les délimitations de la carte de danger.

### Problématique de la mise en œuvre dans les cartes de danger

La cartographie des dangers de coulées de boue et de petits glissements de terrain spontanés ne correspond souvent pas à la même précision d'échelle que les autres processus de danger (figure 2). Les raisons mentionnées ci-dessus en sont la cause : une disposition de base uniforme délimitée de façon trop générale, une influence peu claire des facteurs aggravants et une distance d'écoulement difficile à déterminer.

Outre les difficultés à déterminer l'intensité et la zone d'influence, les différentes façons d'appliquer le diagramme intensité-probabilité et la représentation des différents processus partiels de glissement sur la carte de danger conduisent à des résultats différents. Avec le diagramme intensité-probabilité, les différences résultent principalement des champs matriciels divisés diagonalement. La question se pose ici de savoir si la zone de transit des coulées de boue doit être évaluée différemment de la zone d'épanchement. L'application des champs divisés diagonalement pour les coulées de boue et les petits glissements spontanés est également non unifiée. On constate même que des diagrammes intensité-probabilité parfois très différents sont appliqués (figure 3).

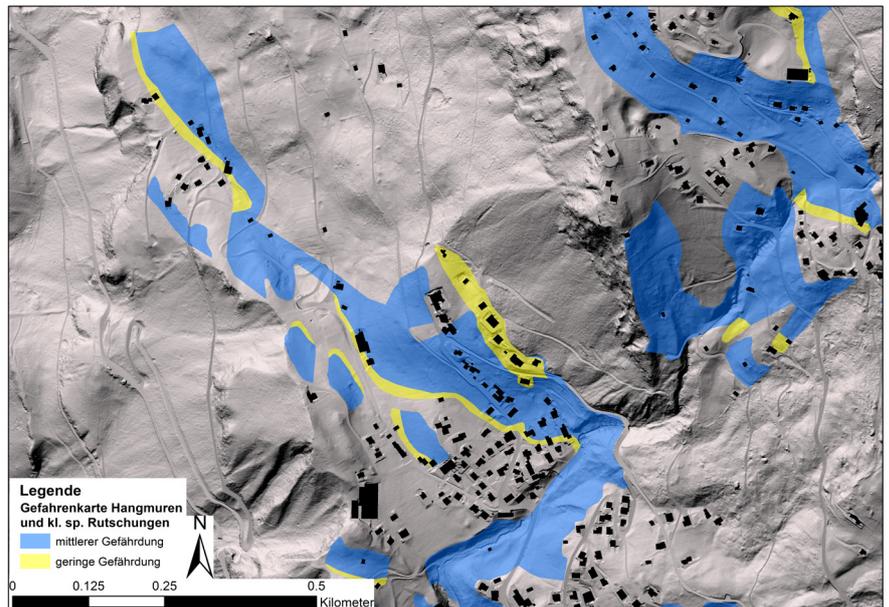


Figure 2: Exemple d'une délimitation générale des secteurs de danger.

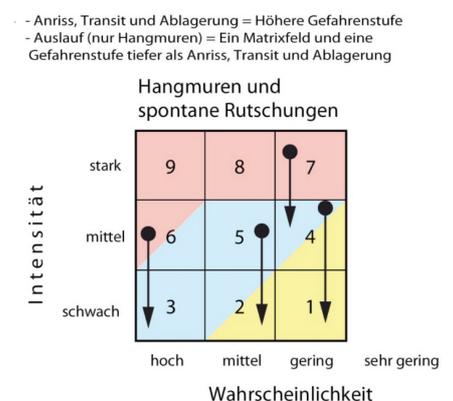
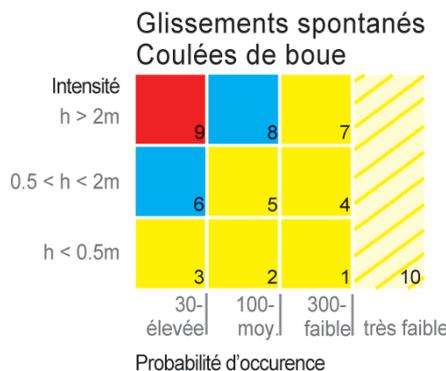


Figure 3: Exemples de diagrammes intensité-probabilité différents.

Lors de la synthèse, dans une même carte de danger, des différents processus partiels de glissement (coulées de boue de versant, petits glissements de terrain spontanés, grands glissements de terrain spontanés, glissements de terrain permanents), il faut veiller à ne pas perdre les informations détaillées importantes propres aux processus partiels. Ces informations sont en effet nécessaires, par exemple pour la formulation de conditions constructives ou la détermination de mesures de protection à l'objet. Il en va de même pour les cartes d'intensité, où une éventuelle différen-

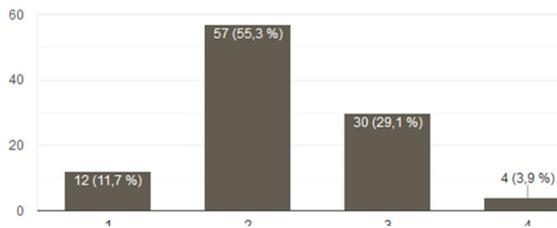
ciation entre les processus partiels joue un rôle décisif pour l'utilisation des cartes en cas d'événement, à savoir dans le cadre des décisions d'intervention et d'évacuation.

### Points critiques selon le sondage "Wo brennt's"

Les questions ouvertes et difficultés présentées plus haut ne sont pas spécifiques à une région ou à un groupe restreint de personnes, mais paraissent bien être partagées par l'ensemble de la communauté. C'est du moins ce qui ressort, en partie indirectement,

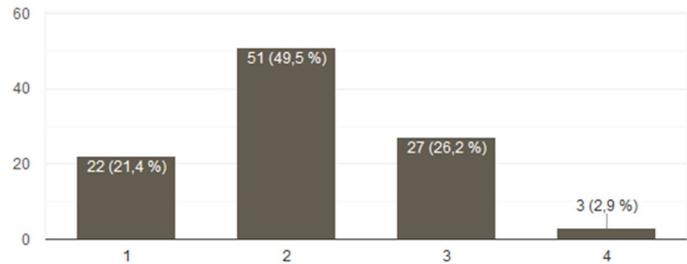
Die aktuellen Möglichkeiten und Instrumente für die Gefahrenbeurteilung von Hangmuren und Spontanrutschungen sind zufriedenstellend

103 Antworten



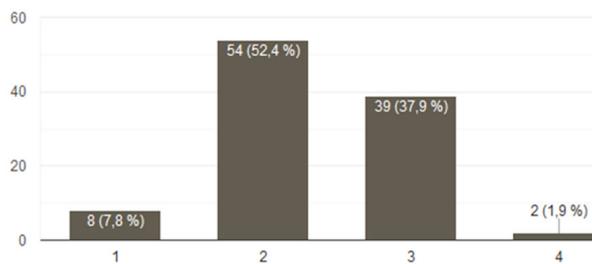
"Die Beurteilung der Disposition ist einfach"

103 Antworten



"Das Prozessverständnis ist hoch"

103 Antworten



"Die Datengrundlagen genügen den Ansprüchen für eine Gefahrenbeurteilung"

103 Antworten

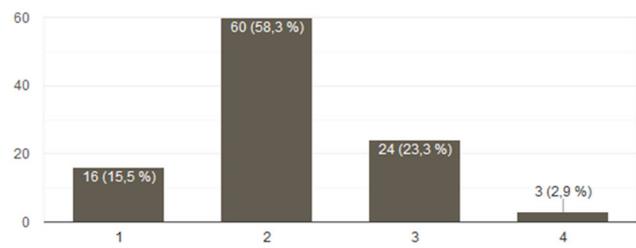
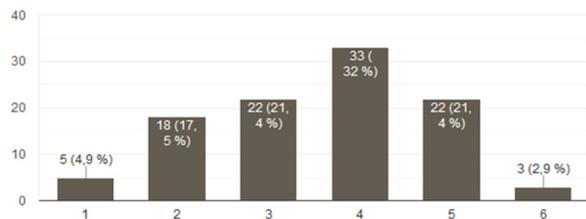


Figure 4: Quatre affirmations proposées en début du cours. Une tendance identique se dessine pour les quatre propositions (de 1 = pas d'accord à 4 = entièrement d'accord).

Mein Kenntnisstand in Bezug auf die Beurteilung von Hangmuren und Spontanrutschungen ist...

103 Antworten



Ich habe bereits Erfahrung in der Beurteilung von Hangmuren- und Spontanrutschungen gesammelt

103 Antworten

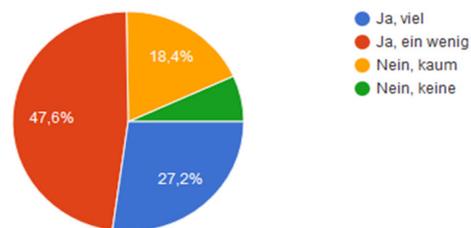


Figure 5: Niveau de connaissance et d'expérience des participant(e)s dans l'évaluation des glissements spontanés et coulées boueuses (pour le graphique de gauche: de 1 = très faible à 6 = très élevé).

des résultats du sondage "Wo brennt's" réalisé au début du cours.

Pour les quatre affirmations proposées, une majorité a plutôt exprimé un désaccord, avec entre 60 et 74 % de voix pour les tendances "pas d'accord" et "plutôt pas d'accord" (figure 4). Ces résultats sont probablement aussi le reflet des niveaux de connaissance et d'expérience très variables des participant(e)s dans le domaine (figure 5).

Par rapport aux difficultés mises en évidence en début de cette première partie et par la figure 4, les participant(e)s ont pu indiquer, dans une liste prédéfinie, tous les aspects qui les intéressaient plus particulièrement dans le cadre du cours (figure 6). Ces résultats reflètent les attentes et besoins personnels d'en savoir plus dans certains domaines précis, ceci dans une optique de formation continue. La figure 6 montre également a posteriori que le programme du cours était en adéquation avec ces attentes, ce que l'enquête de sa-

tisfaction réalisée après le cours a aussi pu confirmer.

Ces attentes ont ensuite été explicitées par le biais de la question ouverte "Que souhaitez-vous retirer du cours?". Sans entrer dans le détail, il apparaît clairement que les attentes correspondent aussi aux domaines dans lesquels existe un besoin de nouveaux développements; les presque huitante réponses données seront très utiles pour préciser les besoins d'action futurs (voir partie 3).

Welche Aspekte interessieren dich beim aktuellen Kurs?

103 Antworten

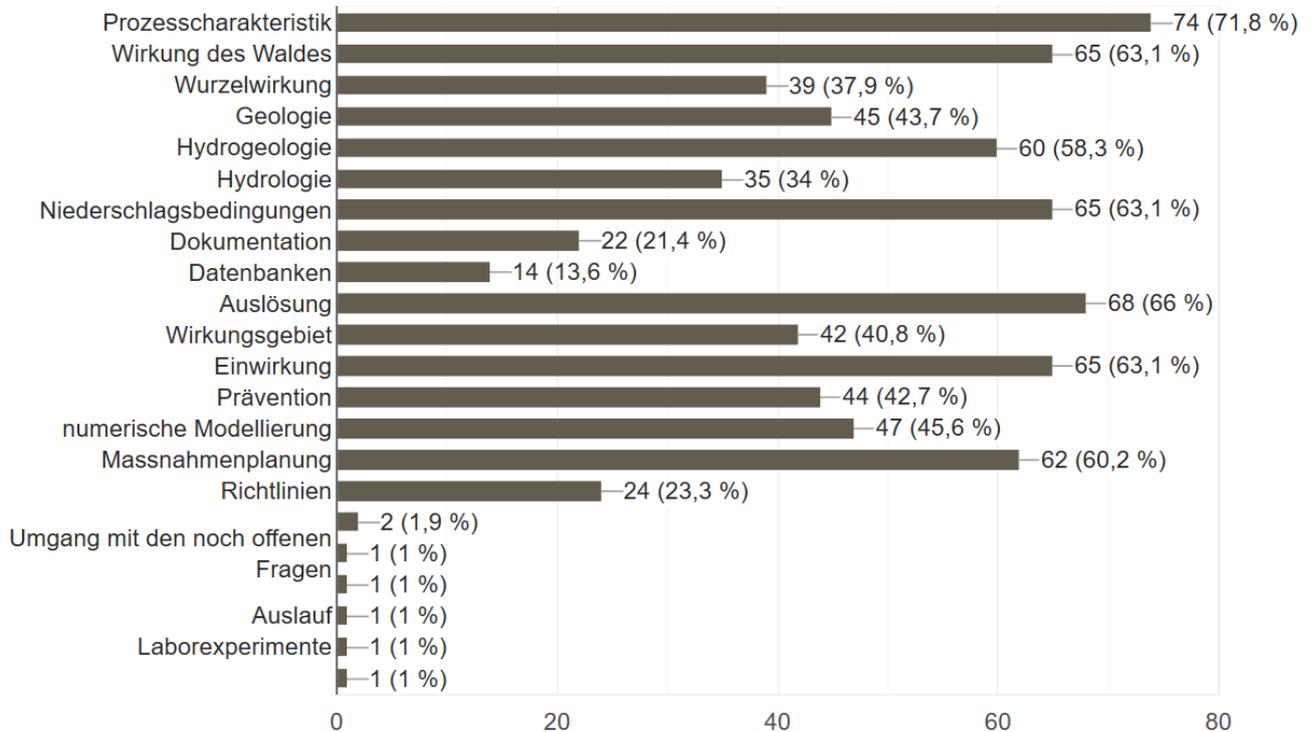


Figure 6: Principaux intérêts des participant(e)s.

Il apparait également que le document de référence actuel, l'aide à l'exécution Protection contre les dangers dus aux mouvements de terrain (OFEV 2016) est connu par environ 90 % des participant(e)s, mais utilisé par moins de 60 % d'entre eux. Certaines raisons pour sa non-utilisation sont évoquées, notamment le fait qu'elle n'apporte aucune nouveauté ni de solutions pour la détermination des intensités et des probabilités des processus en question.

Partie 2

Travaux entrepris par l'OFEV

L'OFEV, et avant lui l'ancien Office des eaux et de la géologie OFEG, ont identifié de longue date les difficultés liées à l'évaluation et à la prise en compte des processus en question.

Les principales activités menées depuis 2007 en vue de combler les lacunes, de même que les jalons majeurs des dernières années ont été évoqués à Schwägälp par Turi Sandri dans sa keynote et détaillées par Bernard Loup dans la synthèse du vendredi (cf. FAN 2019 et les représentations accessibles sur le site Internet de la FAN <https://fan-info.ch>. Un aperçu de ces activités est redonné ci-après.

Thèmes prioritaires traités entre 2007 et 2019

Parmi toutes les questions ouvertes relatives aux différents thèmes où? - type de processus? - quand? - conditions du déclenchement? - surface touchée? - actions/contraintes? - recours à la simulation? - mesures de mitigation? - prévision? - etc., les actions prioritaires

ont porté sur:

- l'évaluation de la disposition,
- la documentation exhaustive des événements pour une meilleure compréhension des processus et de leurs caractéristiques,
- es actions,
- l'utilisation de la simulation numérique,
- la prévision et l'alarme.

Afin d'apporter des réponses à ces questions, de nombreux ateliers et échanges entre partenaires spécialisés ont été organisés. Plusieurs mandats de recherche ont été attribués par l'OFEV à des bureaux, hautes-écoles ou associations professionnelles. L'OFEV a également participé au financement de certains projets. A relever que les cantons ont également entrepris de leur côté des actions en vue de clarifier

ces points ouverts, par exemple dans les domaines de la détermination de la disposition ou de la modélisation de l'écoulement.

### Disposition

Un mandat attribué à l'AGN a permis de préciser les facteurs clés dans la détermination de la disposition géologique et hydrogéologique. L'étude réalisée propose également des outils concrets d'analyse de terrain permettant une différenciation plus fine de la disposition. Pour le détail, se référer à la présentation de Roland Wyss (in: FAN 2019), au rapport complet de 2016 disponible sur le site Internet du GSGI (AGN 2016; <https://www.sfig-gsgi.ch/publikationen>), et aux deux articles parus dans le Swiss Bulletin de géologie appliquée (Boll-Bilgot et Parriaux 2018; Wyss et al. 2018).

La carte du ruissellement réalisée sur mandat de l'OFEV est également un document précieux pour évaluer la répartition spatiale possible des coulées et glissements spontanés en fonction des cheminements et concentrations préférentielles des eaux de surface.

Une analyse comparative réalisée en interne (OFEV, W. Ruf) a permis de montrer que le point de déclenchement de 55 à 60 % des 3400 événements saisis dans StorMe par le canton de Berne se situe dans une surface touchée par un écoulement superficiel (figure 7).

A noter que la carte du ruissellement a été réalisée avant tout dans une optique de prévention des dommages liés à l'eau, mais qu'elle trouve ici un autre domaine d'application très prometteur, tant pour l'évaluation de la répartition spatiale que pour l'évaluation des conditions de déclenchement.

### Documentation des événements

"Qui veut prévoir doit s'intéresser au passé".

Toutes les informations consignées dans un cadastre des événements naturels sont indispensables lorsqu'il s'agit par exemple de comprendre les processus et leurs caractéristiques, de délimiter les périmètres potentiellement menacés, d'estimer les périodes de retour, de définir les scénarios, d'évaluer les dommages possibles ou encore d'étalonner les simulations. Dans le but de proposer aux milieux scientifiques et de la pratique un outil de référence pour les aspects ci-dessus, l'OFEV a fortement contribué au développement des bases de données existantes du WSL. Les différentes séries d'événements ont ainsi été réunies dans une base de données unique, selon une structure harmonisée et augmentée par de nouveaux champs, principalement dans le domaine de la géologie et de l'hydrogéologie (détails dans la présentation et l'article de Christian Rickli, in: FAN 2019).

La mise en ligne de la base de données – accessible à toute personne intéressée sous <https://hangmuren.wsl.ch/login.html> – a été

largement communiquée, notamment par la FAN. Selon l'enquête "Wo brennt's", 55 % des participant(e)s au cours connaissaient l'existence de cette base de données, alors que seuls 21 % l'ont effectivement utilisée. Afin que cet outil soit toujours plus performant, d'autres événements seront ajoutés en fonction de leur survenance.

### Actions

Depuis les *Recommandations pour la prise en compte des dangers dus aux mouvements de terrain dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire* (OFAT, OFEE, OFEFP 1997), l'épaisseur de la masse mobilisable  $e$  et la hauteur du dépôt  $h$  sont utilisées comme critères d'intensité (voir aussi OFEV 2016). Ces deux paramètres sont toujours apparus comme peu satisfaisants, dans la mesure où ils ne sont pas en relation directe avec les actions effectivement à l'origine d'un dommage possible. Afin d'explorer cette question et de mieux comprendre les actions liées aux mouvements de terrain superficiels,

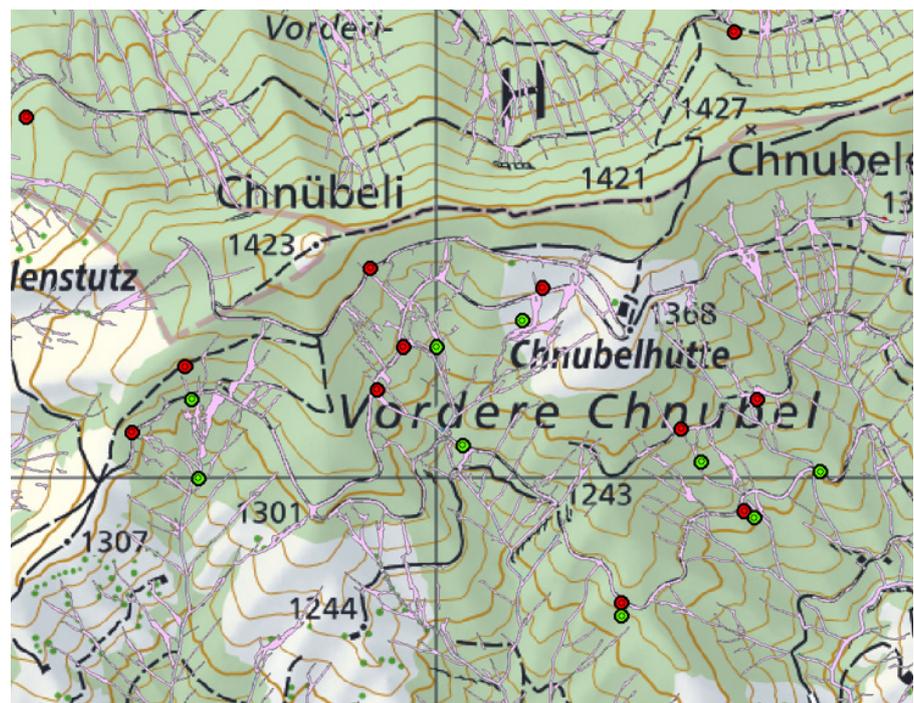


Figure 7: Corrélation entre la carte de ruissellement et les événements saisis dans StorMe par le canton de Berne (extrait secteur Eriz) Rouge: point de déclenchement, Vert: point d'arrêt.

l'OFEV a mandaté le bureau Egli Eng. AG pour reconstituer les pressions à l'origine de dommages connus et bien documentés. Ceci a été fait d'une part par calcul rétroactif de la statique constructive, d'autre part par simulation (RAMMS::Hillslope). Sans revenir ici sur les résultats (aperçu en figures 8 et 9; détails dans Loup et al. 2012; voir aussi présentation et article de Thomas Egli, in: FAN 2019), il apparaît que les pressions montrent une grande variabilité et que ce paramètre est a priori un bon candidat en tant que critère d'intensité; des approfondissements sont néanmoins nécessaires. Cette étude a également démontré la difficulté que peuvent avoir certains outils ou approches à reproduire la réalité

**Simulation numérique**

La question des outils de simulation est également un des aspects sur lequel l'OFEV a voulu faire avancer les choses. Les résultats du sondage initial "Wo brennt's" sont d'ailleurs assez

symptomatiques de la situation: il ne semble pas exister, du moins actuellement, d'outil de simulation idéal, faisant l'unanimité, ceci tant pour la disposition que pour l'écoulement (cf. présentation de Brian McArdeell pour une vue d'ensemble). Environ 60 % des participant(e)s connaît des outils pour la modélisation numérique de la disposition et de l'écoulement. Par contre, seul un quart en utilise. Pour les modèles de disposition, la palette d'outils mis en œuvre compte une quinzaine d'applications, dont certains développements propres; il en va de même pour les modèles d'écoulement.

Une large majorité des participant(e)s (69 %) reconnaît que les outils de simulation sont une aide dans le cadre de l'évaluation des dangers; 9 % estiment que non. Les 22 % restants sont sans avis (manque d'expérience?) ou émettent des commentaires:

- sur la nécessité d'une plausibilisation et vé-

rification de terrain poussée,

- sur l'incapacité des modèles à reproduire proprement la réalité,
- sur les grandes incertitudes relatives aux paramètres d'entrée des modèles,
- sur des résultats très incertains en comparaison avec ce que les modèles hydrologiques ou nivologiques peuvent produire,
- sur leur usage pertinent seulement à grande échelle, par exemple pour délimiter des zones potentiellement exposées,
- sur la dépendance des modèles d'écoulement vis-à-vis de la localisation correcte des zones de déclenchement et de la nature du processus en jeu (avec ou sans liquéfaction),
- sur le "danger" que les modèles peuvent représenter si l'utilisation n'est pas rigoureuse: ils livrent de toute façon un résultat a priori précis et plausible, et peuvent ainsi donner une illusion d'exactitude.

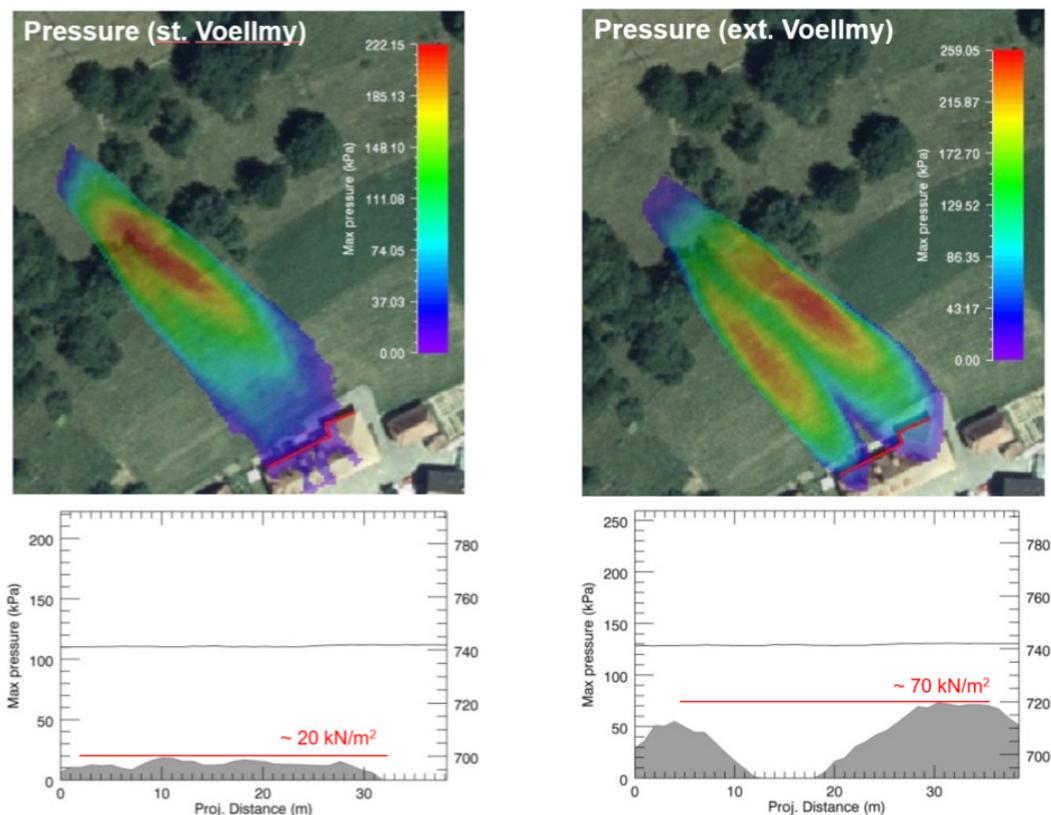


Figure 8: Deux simulations d'un événement survenu en juin 2010 à l'aide de RAMMS::Hillslope (selon état du développement en 2011). A gauche selon un modèle "Voellmy standard", à droite selon un modèle "Voellmy étendu". Les pressions simulées au droit du mur amont sont de 20 resp. 70 kN/m².

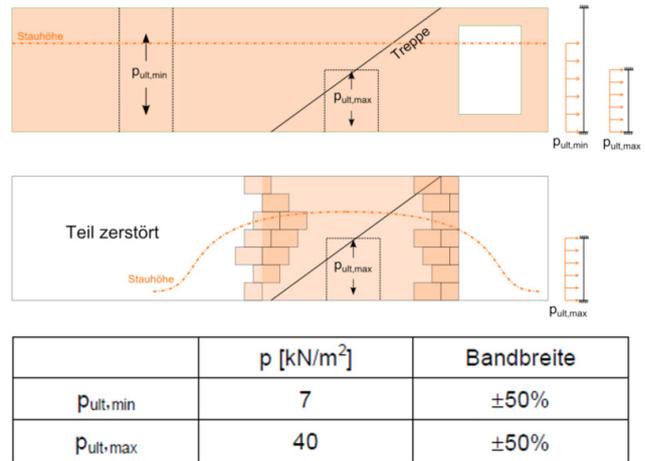


Figure 9: Pour le même évènement qu'en figure 8, résultats du rétrocalcul statique sur la base des dommages constatés. Les pressions reconstituées se situent entre 7 et 40 kN/m<sup>2</sup>. On constate dans cet exemple une concordance des ordres de grandeurs entre les résultats de la simulation (fig. 8) et du calcul statique (fig. 9).

Celles et ceux qui estiment que les modèles ne constituent pas une aide justifient en partie leur réponse, principalement par la difficulté à entrer les "bons" paramètres dans le modèle (le terme "blackbox" revient plusieurs fois), et par l'imprécision ou l'inexactitude des modèles de disposition et d'écoulement.

Les personnes estimant au contraire que les modèles sont utiles justifient leur choix par de nombreux arguments; pour eux, les modèles sont:

- adéquats pour des vues d'ensemble, au niveau carte indicative, ou pour délimiter des enveloppes d'atteinte,
- adaptés pour l'estimation des chemins d'écoulement possibles,
- appropriés pour une première évaluation de la disposition, des zones d'écoulement, des vitesses et des pressions, mais nécessitent une grande expérience dans leur utilisation et une plausibilisation de terrain,
- nécessaires dans les secteurs où une disposition est manifeste mais dans lesquels aucun évènement n'est documenté.

Ces modèles permettent aussi:

- de contrôler de façon objective et de supporter les hypothèses et l'évaluation basée

sur la seule analyse de terrain,

- d'estimer grossièrement les conditions de disposition,
- de donner les ordres de grandeur de ce qui peut se produire ("champ des possibles"),
- de reproduire des événements passés,
- de quantifier les processus et leurs caractéristiques,
- d'améliorer l'objectivité et d'assurer une reproductibilité (pour autant que les paramètres soient déclarés),
- de simuler différents scénarios,
- de mieux connaître les conditions effectives du terrain, dans la mesure où les paramètres requis par le modèle obligent à poser les "bonnes questions".

Certains "pro-modèles" s'accordent enfin à reconnaître les limites de ces instruments pour des analyses de détail et des pronostics fiables. Ils considèrent néanmoins qu'il vaut mieux utiliser en connaissance de cause des modèles imparfaits, plutôt que de se fier à sa seule intuition ou au *soutien divin* (citation).

On le voit, les questions de modélisation soulèvent un large débat, qui pourrait se résumer par: "modèles: oui, ... mais...".

Conscient des difficultés propres à la simulation des coulées de boue et glissements spontanés, l'OFEV a notamment soutenu le développement de RAMMS::Hillslope (Bartelt et al. 2011) et participe actuellement au développement d'un modèle probabiliste d'écoulement spatial ("SlideForce") mené par la Haute-école spécialisée du canton de Berne (HAFL). La mise à disposition de ce dernier modèle devrait se faire en 2021.

### Prévision et alarme

Afin d'évaluer et de tester les possibilités d'un système automatique d'alerte à destination des collectivités publiques, l'OFEV a soutenu un projet pilote dans le Val d'Illeiez (VS) en collaboration avec la Canton du Valais (Chêneau et Risser 2019). Le système est basé sur la méthodologie déterministe OLPAC (Operational Landslide Prediction Alert Cartography), reposant sur le calcul de stabilité d'un glissement plan infini. Le modèle intègre les principales données décrivant la disposition (topographie, paramètres géotechniques et hydrogéologiques, épaisseur du sol mobilisable, utilisation du sol). Il calcule en permanence le facteur de sécurité en fonction des précipitations antécédentes (module temps réel au temps  $t$ ) et génère des prévisions de stabilité basées sur

les pluies attendues (COSMO) à temps  $t + 1h$  jusqu'à  $t + 6h$  (module prévisionnel; figure 10). Des seuils d'alertes peuvent être fixés et permettent l'envoi automatique de messages d'alerte par SMS et e-mail. Après une longue période de calibration et de nombreux développements permettant de mieux tenir compte de la complexité du système naturel, le modèle est opérationnel et a montré sa réactivité. Sa capacité à anticiper les événements critiques doit maintenant être validée sur la durée.

Suite à la décision du Conseil fédéral relative au rapport de suivi OWARNA donnant notamment mandat à l'OFEV de mettre en place une alerte de disposition pour les mouvements de terrain, les activités dans ce domaine vont fortement s'intensifier dans les années à venir.

**Aide à l'exécution**

Le bref exposé des principales activités de l'OFEV depuis 2007 ne saurait omettre l'aide

à l'exécution *Protection contre les dangers dus aux mouvements de terrain* (OFEV 2016). Dans le domaine des glissements spontanés et des coulées de boue, les nouveautés principales par rapport aux recommandations de 1997 résident dans:

- la formalisation d'une approche en 5 étapes pour l'évaluation de la probabilité d'occurrence,
- l'introduction des facteurs aggravants,
- la combinaison des facteurs aggravants avec des critères de pente pour l'évaluation de la probabilité d'occurrence; deux approches sont proposées pour cette étape.

Si ces nouveaux éléments permettent d'améliorer la qualité de l'évaluation des dangers, des progrès doivent encore être faits (cf. partie 3). Ce n'est que quand la pratique aura pu valider de nouvelles approches et méthodes que l'aide à l'exécution pourra le cas échéant

être adaptée.

**Partie 3**

**Besoins d'action**

C'est une évidence pour tous, il existe encore des lacunes importantes et des actions doivent être entreprises en vue de les combler au mieux; c'est en tout cas l'avis de 87 % des personnes présentes à Schwägälp (figure 11).

Les participant(e)s ont nommé les thèmes qui doivent encore être abordés de façon plus pointue. Les 113 réponses recueillies sont classées selon la figure 12. Une tentative de regrouper les sujets de la figure 12 par thèmes apparentés se trouve en figure 13. Les besoins d'action ainsi identifiés et indirectement priorisés sont en parfaite adéquation avec les échanges d'expériences et les constats durant le cours.

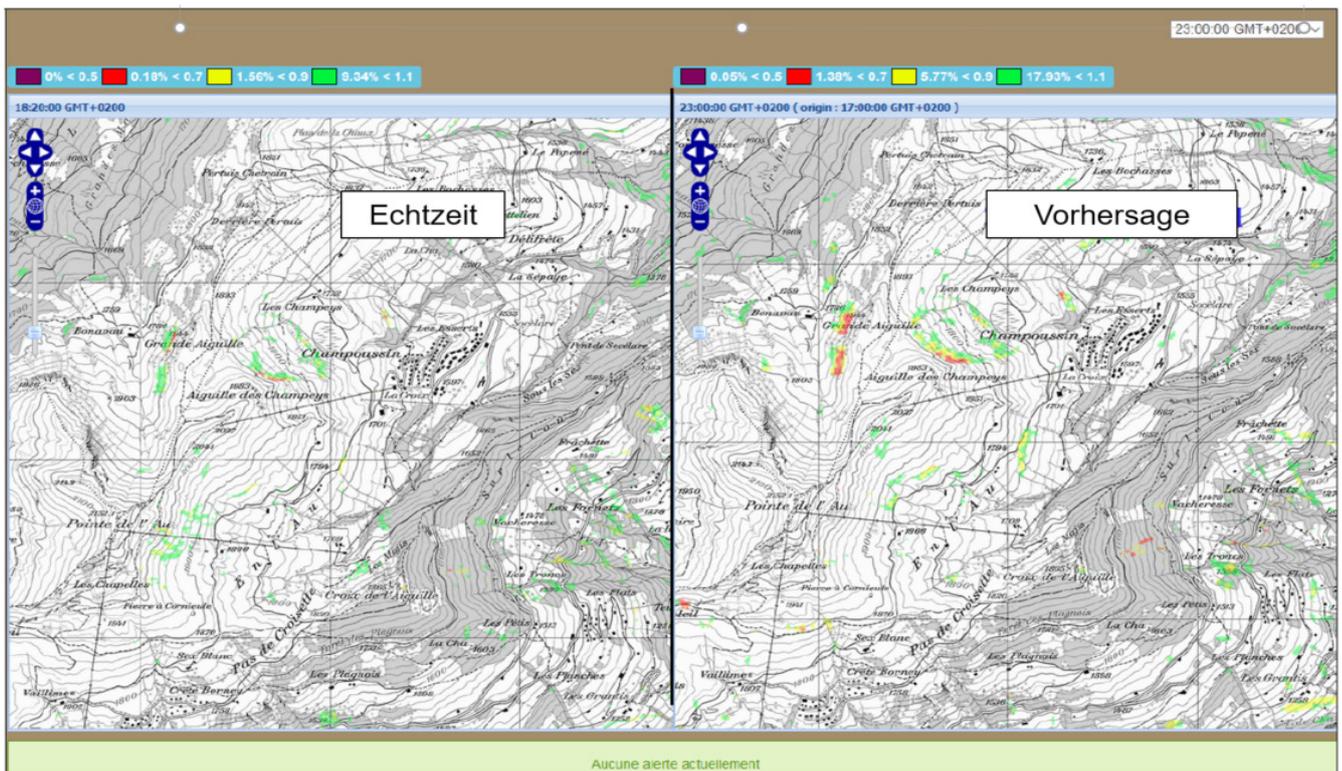


Figure 10: Extrait du modèle OLPAC pour le Val d'Iliez. A gauche, état de stabilité en temps réel (ici 18h20, moment auquel la prévision est faite); à droite, prévision de la stabilité à 23h00 tenant compte des pluies attendues, et montrant une réduction générale des facteurs de sécurité (FS). Ceux-ci sont indiqués selon 4 classes (en haut de chaque carte) avec le pourcentage de surface concernée (par rapport à une surface de référence prédéterminée).

L'évaluation post-cours permet d'expliciter certains de ces thèmes. Quelques citations (traduction libre):

- *J'attendais plus de ce cours. En ce qui concerne l'évaluation des dangers de coulées de boue et de glissements de terrain spontanés, nous n'avons fait aucun progrès.*
- *Il m'est difficile de prétendre avoir compris les caractéristiques du processus, alors qu'en fin de compte, il n'est pas tout à fait clair si les coulées de boue et les glissements de terrain spontanés peuvent être attribués au même processus.*
- *Les problèmes d'évaluation (en particulier la disposition et le déclenchement, la probabilité d'occurrence et les actions / intensités) restent entiers.*
- *... si nous ne sous-estimons pas fondamentalement le danger et l'intensité des coulées de boue et des glissements spontanés et si le danger est plus ou moins correctement représenté dans les cartes de dangers.*
- *De plus, l'évaluation des dangers telle que décrite dans l'aide à l'exécution de l'OFEV n'est pas réalisable (nouveau schéma/graphique) ou se base sur des approches anciennes, encore insatisfaisantes.*
- *Il est certainement encore nécessaire de mieux évaluer la question des glissements de terrain spontanés / coulées de boue.*
- *L'ensemble de la dynamique du processus entre le déclenchement et le dépôt n'a été discuté nulle part (dans le cours), mais se-*

*rait très important.*

L'évaluation qui a suivi le cours a également soulevé d'autres aspects, comme le fossé qu'il y a, en tout cas pour certains domaines, entre la science et la pratique. Pour certains(e)s, la science n'apporte pas les réponses dont la pratique a besoin. A nouveau quelques citations:

- *Des contributions en partie très scientifiques.*
- *Certaines des contributions scientifiques ont eu une valeur ajoutée trop faible pour être mises en œuvre dans la pratique.*
- *La divergence entre le recherche et la pratique a été mise en lumière, et de façon éclatante!*
- *Des sujets présentés, l'effet des racines a été le plus en lien avec la pratique. La référence à la mise en œuvre a fait défaut chez tous les autres orateurs / oratrices.*
- *Intéressant / effrayant de voir à quel point la théorie et la pratique sont éloignées l'une de l'autre. Un rapprochement serait souhaitable.*
- *... a donné une bonne impression a) de la recherche actuelle et b) des nombreux problèmes de la pratique. Malheureusement, à mon avis, les deux parties n'étaient pas assez "connectées". Je n'ai pas pu voir au travers les travaux de recherche de solution envisageable ou des exemples de meilleure*

*pratique pour faire face aux incertitudes du terrain. Vu sous cet angle, le cours en deux parties – théorie / exercices de terrain – était probablement exemplaire pour le fossé existant entre la recherche et la pratique.*

## Synthèse

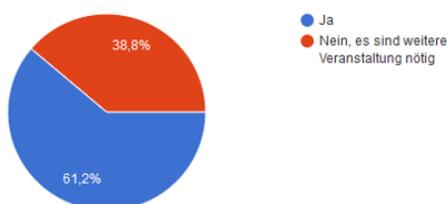
Le cours FAN de Schwägälp constitue un jalon important pour une meilleure évaluation et prise en compte des (petits) glissements spontanés et coulées boueuses. Il a en effet permis de faire un point de la situation en présentant une partie des travaux entrepris depuis plusieurs années. Des avancées ont été faites et d'autres progrès sont en cours, de telle sorte que des méthodes et moyens sont disponibles pour déjà améliorer de façon significative l'évaluation des processus en question. Il manque très certainement encore une méthodologie unifiée qui réunissent les connaissances et expériences acquises ces dernières années sous une forme adaptée à la pratique.

Le cours a aussi permis de constater ouvertement les lacunes subsistantes et d'identifier les besoins d'action futurs. Ces derniers étaient sans doute déjà connus par la plupart des participant(e)s, mais le cours a permis de confirmer les axes prioritaires, qui devraient porter sur:

- les critères et méthodes permettant

### Die aktuelle Veranstaltung genügt meinen Erwartungen

103 Antworten



### Besteht Handlungsbedarf für eine Verbesserung der Beurteilung von Hangmuren und Spontanrutschungen?

103 Antworten

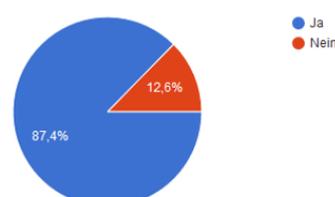


Figure 11: Si le cours de Schwägälp a en partie permis de répondre aux attentes (graphique de gauche), une très large majorité estime qu'un besoin d'action est présent (graphique de droite).

d'évaluer la disposition de façon plus nuancée (y compris paramètres géologiques – hydrogéologiques - géotechniques, effet de la végétation, facteurs aggravants, etc.)

- la caractérisation des processus (y compris classification et relations avec les glissements permanents et les grands glissements spontanés),
- les actions et les critères et classes d'intensité,
- les conditions et le fonctionnement du déclenchement,
- la zone d'atteinte (y compris simulation numérique),
- la prévision et l'alerte,
- l'établissement d'une méthodologie unifiée garantissant une approche comparable à l'échelle nationale.

Afin d'aborder et de combler les lacunes encore présentes, 83 % des participant(e)s estiment que la formation d'un groupe de travail est nécessaire. Il faudra dans ce cadre veiller à mieux réunir science et pratique, et, surtout, à s'assurer que les résultats de la recherche se traduisent en méthodes ou instruments concrets pour la pratique.

Le pilotage des études futures devrait quant à lui être confié à l'OFEV (60 %), à la FAN (48 %) et / ou à l'AGN (20 %), plusieurs personnes se prononçant en faveur d'une collaboration entre ces instances. La toute prochaine étape va consister à réunir les principaux partenaires en vue d'établir le programme des futures démarches et études. En l'état actuel, les personnes de contact sont Christoph Graf pour la FAN et Bernard Loup pour l'OFEV; les autres partenaires doivent encore être définis.

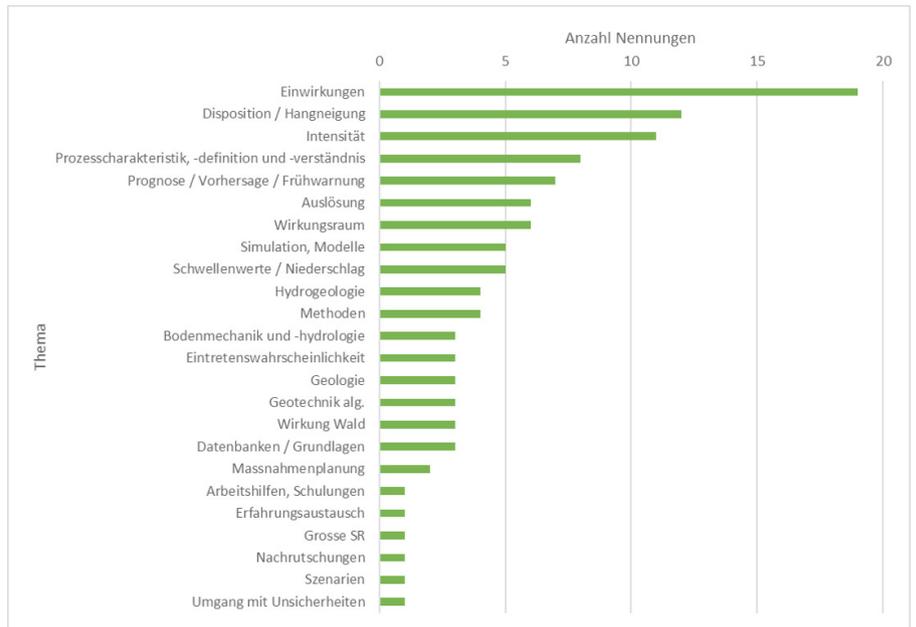


Figure 12: Besoins d'action identifiés, classés en fonction du nombre d'occurrences.



Figure 13: Besoins d'action regroupés par thèmes apparentés. Les thèmes récoltant le plus de suffrages sont également ceux qui sont ressortis lors la discussion clôturant le cours.

Dieser Artikel steht in **Deutsch** und **Französisch** ebenfalls unter folgendem Link zur Verfügung:

[https://fan-info.ch/wp-content/uploads/HK19\\_Fazit\\_de.pdf](https://fan-info.ch/wp-content/uploads/HK19_Fazit_de.pdf)



[https://fan-info.ch/wp-content/uploads/HK19\\_Synthese\\_fr.pdf](https://fan-info.ch/wp-content/uploads/HK19_Synthese_fr.pdf)



## Références

- 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-gsgj.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/Ta-gungsbeitraege/2012\\_1\\_225.pdf](http://www.interpraevent.at/palm-cms/upload_files/Publikationen/Ta-gungsbeitraege/2012_1_225.pdf)
- Loup, B., Wohlwend, S. (2020): Fazit des Herbstkurses 2019: Umgang mit spontanen Rutschungen und Hangmuren - Wo stehen wir? Wo besteht Handlungsbedarf?
- 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.

# Fundationen im Permafrost – Stand der Technik

Matthias Matile <sup>1</sup>(matthias.matile@bluewin.ch)

<sup>1</sup> Berner Fachhochschule für Architektur, Holz und Bau BFH AHB, Burgdorf

## Resumé

Basée sur une recherche documentaire, de brevets et de projets, la thèse de master montre l'état actuel de la technique pour les fondations dans les régions de permafrost alpin et polaire. Certains phénomènes importants dans les pergélisols sont décrits dans l'introduction. Trois méthodes de construction des fondations dans le pergélisol peuvent être distinguées : (i) l'approche passive, (ii) l'approche adaptative et (iii) l'approche active.

## Introduction

L'utilisation accrue de la région alpine, notamment en tant que destination touristique et axe de transit, entraîne une augmentation du contact avec les effets du changement des pergélisols. Divers phénomènes connexes peuvent affecter directement les bâtiments et causer des dommages à la structure des constructions.

Les premières explications scientifiques du permafrost ont été présentées dès le 18ème siècle, basées sur des considérations d'échange de chaleur entre le sol et l'atmosphère [2, p. 7]. Le sujet a pris de l'importance avec la construction de mines aux États-Unis, en Sibérie et dans l'Oural, ainsi qu'avec la construction de chemins de fer (par exemple, Hudson Bay Railway, Canada) au début du XXe siècle [3]. En Suisse, le permafrost alpin a été rencontré pour la première fois lors de la construction des chemins de fer de la Jungfrau au début du XXe siècle. D'autres connaissances ont été acquises

grâce à des enquêtes sur les glaciers rocheux dans les années 1950. Ce n'est qu'à la fin des années 1970 que la Suisse a commencé à s'occuper plus intensivement du permafrost alpin. En 1996, l'Institut pour l'étude de la neige et des avalanches (SLF, WSL) a commencé l'étude systématique du permafrost en creusant plus de vingt forages [4].

## Zusammenfassung

Die hier zusammengefasste Masterarbeit zeigt auf Grundlage einer Literatur-, Patent- und Projektrecherche den aktuellen Stand der Technik für Fundationen in alpinen und polaren Permafrostgebieten auf. Einleitend werden einige wichtige Phänomene in Permafrostböden beschrieben. Drei Konstruktionsmethoden für Fundationen im Permafrost können identifiziert werden: (i) passiver Ansatz, (ii) adaptiver Ansatz und (iii) aktiver Ansatz.

## Einleitung

Die intensivierete Nutzung des Alpenraums u.a. als Tourismusort und Transitachse führt zu vermehrtem Kontakt mit Auswirkungen von sich veränderndem Permafrost. Diverse damit verbundene Phänomene können direkt auf Bauwerke einwirken und Schäden an der Baustruktur verursachen.

Erste wissenschaftliche Erklärungen zum Permafrost wurden bereits im 18. Jahrhundert auf Grundlage von Überlegungen zum Wärmeaustausch zwischen Boden und Atmosphäre vorgestellt [2, p. 7].

Weitere Bedeutung gewann das Thema mit dem Bau von Minen in den USA, Sibirien und im Ural sowie dem Eisenbahnbau (bspw. Hudson Bay Railway, Kanada) um die Wende ins 20. Jahrhundert [3]. In der Schweiz sah man sich erstmals beim Bau der Jungfraubahnen anfangs des 20. Jahrhunderts mit alpinem Permafrost konfrontiert. Weiteren Erkenntnisgewinn erlangte man mit Untersuchungen an Blockgletschern in den 1950er-Jahren. Erst in den späten 1970er begann man sich in der Schweiz intensiver mit alpinem Permafrost auseinanderzusetzen. 1996 startete das WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) mit dem Abteufen von mehr als zwanzig Bohrungen die systematische Untersuchung von Permafrost [4].

## Herausforderungen beim Bau auf Permafrostböden

### Frosthebungen

Frosthebungen entstehen durch das Gefrieren von Porenwasser im Boden. Als Grundlage betrachtet man ein Bodenmodell gemäss Abb. 1. Die Frosthebungen entstehen in der «Übergangszone», wenn der Druck im Eis grösser wird als die Summe aus vorhandenem Überlagerungsdruck und dem Druck, welcher benötigt wird, um das Bodenskelett zu separieren. Bei einer langsam nach unten fortschreitenden Frostfront wird Porenwasser des ungefrorenen Bodens entlang des vertikalen Temperaturgradienten zur Gefrierfront transportiert, wo

es gefriert und sich die Eislinse bilden kann. Bei schnellem Fortschreiten der Frostfront und einem Temperaturabfall wird sich die Durchlässigkeit der Übergangszone verkleinern, was zu einem Abfall des Wasserflusses zur aktiven Eislinse führt. Unter diesen Umständen bilden sich oberflächlich feinere Eislinnen, während in der Tiefe grössere Eislinnen entstehen. [5, pp. 36-37]

Die Zunahme des Bodenvolumens durch die Bildung von Eislinnen kann zu erheblichen Hebungskräften auf Foundationen führen. Die totalen aufwärts gerichteten Kräfte  $F$  aus Eishaftung für einen Pfahl können mit der «Dalmatov's»-Gleichung abgeschätzt werden und betragen [5, p. 43]:

$$F = L h_a (c - 0.5bT_m) \text{ [N]} \quad (1)$$

$L$  Fundationslänge in Kontakt mit gefrorenem Boden [cm]

$h_a$  Dicke der gefrorenen Zone [cm]

$T_m$  Minimale Bodentemperatur [°C]

$b, c$  Bodenparameter (experimentell bestimmbar) [kPa]

### Festigkeitsverluste

Festigkeitsverluste in gefrorenen Böden können u.a. aufgrund einer Konsolidierung infolge Auftauens von vorhandenem Eis auftreten. Dabei geht auch die Eiskohäsion verloren. Ferner können während Schmelzvorgängen infolge geringer Durchlässigkeiten oder an einem Stauhohizont hohe Porenwasserüberdrücke entstehen. Des Weiteren können auch Kriechprozesse zu Festigkeitsverlusten führen. Die Temperatur, der Eis- und Salzgehalt beeinflussen die zu einem Festigkeitsverlust führenden Destabilisierungsprozesse. [5]

### Setzungen infolge Auftauens von gefrorenen Böden

Tauen Permafrostböden – oder Böden, die sai-

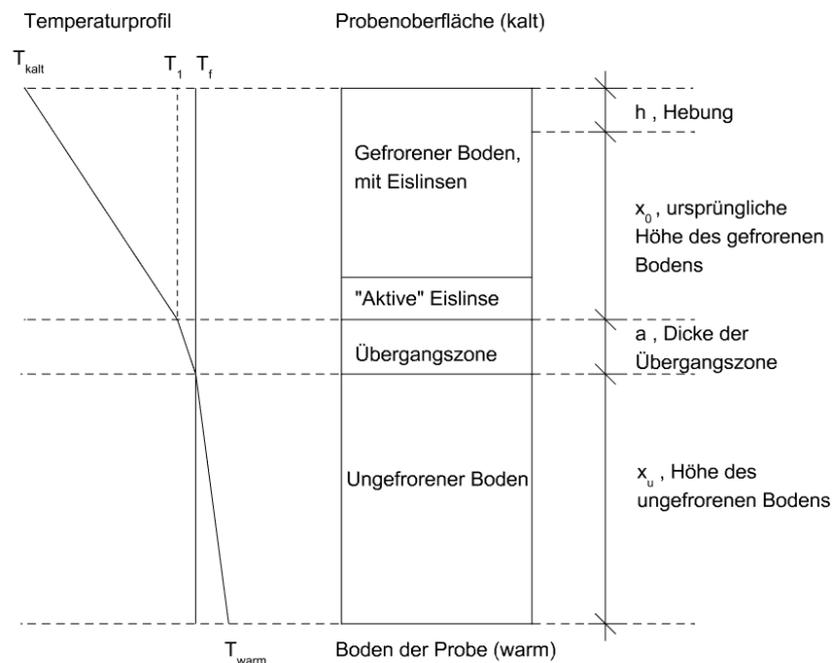


Abbildung 1: Bodenmodell für Frosthebungen; Wasserzutritt vom Boden der Probe. Die Oberflächentemperatur ( $T_{\text{kalt}}$ ) ist kleiner als die Temperatur am Boden der Probe ( $T_{\text{warm}}$ ). Die Temperatur an der Unterseite der Übergangszone ( $T_f$ ) wird häufig zu 0°C angenommen (verändert nach [1]).

sonale Frosthebungen erfahren haben – auf, verschwindet vorhandenes Eis. Das Bodenskelett muss in der Folge durch den existenten Überlagerungsdruck ein neues Gleichgewicht finden. Dieser Vorgang ist mit Setzungen verbunden. [5]

Das Setzungsverhalten kann anhand eines triaxialen Scherversuchs bzw. eines einaxialen Druckversuchs bestimmt werden. [5, p. 90] Alternativ können die Setzungen auch mittels Ansätzen ermittelt werden, die die Trockendichte des Bodens in gefrorenem und aufgetauten Zustand einbeziehen [6, pp. 599-607]. Für Silte und tonige Silte sind Verfahren auf Basis empirischer Untersuchungen bekannt [7]. In leicht modifizierter Weise sind letztere auch für Tone mit geringer Plastizität anwendbar [5, p. 92].

### Kriechverhalten von gefrorenen Böden

Bei Böden mit hohem Eisgehalt und mit viel ungefrorenem Wasser ist Kriechen unter

konstanter Belastung von Bedeutung. Auch bei eisarmem Lockergestein können Kriechdeformationen auftreten, die aber wesentlich kleiner sind (vgl. Abb. 2, links). Das Kriechverhalten von gefrorenen Böden unter einaxialer Druckbelastung bei konstanter Temperatur und schrittweiser Krafterhöhung kann in drei Zonen eingeteilt werden, (I) mit abnehmender Dehnungsrate, (II) mit konstanter Dehnungsrate und (III) mit zunehmender Dehnungsrate (vgl. Abb. 2, rechts).

Für Bemessungszwecke wird das Kriechverhalten von gefrorenen Böden vereinfacht abgebildet. Häufig wird tertiäres Kriechverhalten nicht berücksichtigt, da dieses durch die Randbedingungen im Test beeinflusst wird. Daher geht man oftmals davon aus, dass Kriechversagen gerade am Start des tertiären Kriechens oder bei kleinster Kriechrate auftritt. [5]

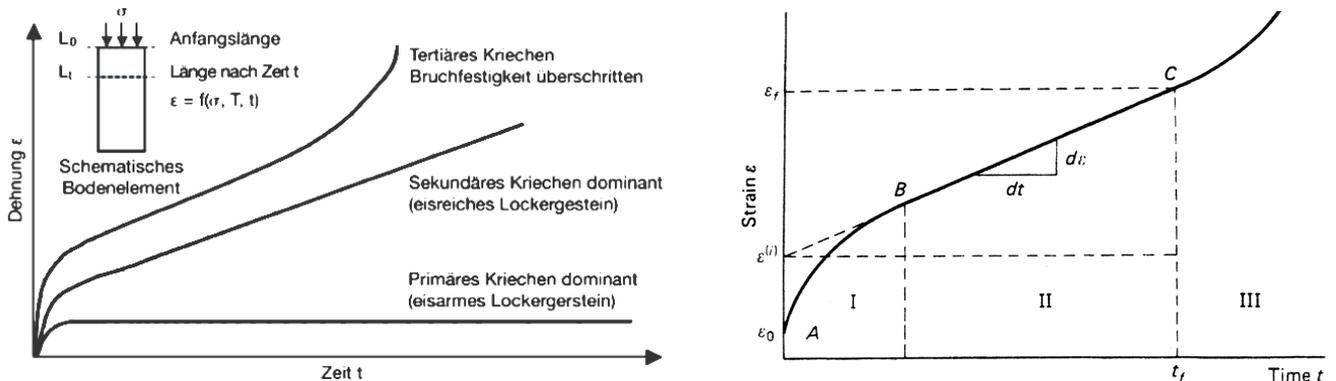


Abbildung 2: links) Kriechkurven für verschiedene Eisgehalte [16]; rechts) Standardkriechkurve, mit Bereichen der Dehnungsrate (I) abnehmend; (II) konstant; (III) zunehmend [5].

### Solifluktion, Gelifluktion

Als Solifluktion wird heute ein Prozess beschrieben, der sich aus mehreren Komponenten zusammensetzt: (i) Frostkriechen und (ii) Gelifluktion. [8, pp. 105-106]

Frostkriechen besteht aus drei Teilprozessen: Frosthebung (normal zur Bodenoberfläche), Tausetzung (vertikal) und einer rückwärts bzw. hangaufwärts gerichteten Komponente. [9, p. 129]

Bei der Gelifluktion bildet sich aufgrund der Wasserundurchlässigkeit eines gefrorenen, eishaltigen Horizonts im Untergrund ein gesättigter Stauwasserhorizont im darüberliegenden, bereits aufgetauten Boden. Der dadurch entstehende Porenwasserüberdruck führt zu einer Herabsetzung der effektiven Spannungen und eventuell vorhandener Kohäsion. [10, pp. 363-404]

Beide Prozesse finden vorwiegend in frostanfälligen Lockergesteinen (d.h. mit hohen Feinanteilen) statt. [3]

### Einflüsse aus der Klimaänderung

Permafrostböden sind anfällig auf Veränderungen infolge des Klimawandels. Neben einer Änderung der Temperatur sind Veränderungen des Niederschlags, der Vegetation, der Wind-

verhältnisse, der Bewölkung und damit der Sonnenstrahlung zu berücksichtigen. [11]

Erwartet werden eine Erhöhung der Lufttemperatur in den Alpen, ein Rückgang der Niederschläge im Sommer, höhere Niederschlagsmengen im Winter sowie intensivere Niederschlagsereignisse und Hitzewellen. Daraus resultieren direkte Konsequenzen für Regionen mit alpinen Permafrostvorkommen. Dazu gehören u.a. niedrigere Scherfestigkeiten, eine anzahlmäßige Erhöhung von langsamen und schnellen Massenbewegungen, eine mächtigere Auftauschicht sowie die Entwicklung von Thermokarst. [12]

### Konstruktionsmethoden für Foundationen im Permafrost

#### Konstruktionsansätze

In polaren Permafrostböden unterscheidet [13] vier Konstruktionsansätze:

- Vernachlässigung von Permafrostvorkommen
- Passiver Ansatz: Entwurf so, dass Permafrost in gefrorenem Zustand verbleibt
- Adaptiver Ansatz: Entwurf so, dass eine stufenweise Schwächung des Permafrosts keine Schäden am Bauwerk hervorruft
- Aktiver Ansatz: Entfernung der tauempfindlichen oder eisreichen Bodenschicht und

Ersatz mit nicht-frostanfälligem Material, bevor Bauten erstellt werden

Diese Ansätze lassen sich auf alpine Regionen übertragen.

#### Serie von Einzelfundamenten

Dieser «passive Ansatz» für temporäre Bauten auf gefrorenem Silt mit potentiell hohen Eisgehalten ist eine sehr preiswerte und einfache Lösung. Dabei werden Einzelfundamente aus Holz oder Beton mit darüberliegendem Stahlrost verwendet. Damit sollen beschränkte differentielle Setzungen überbrückt und Schäden an der darüberliegenden Struktur verhindert werden. [14]

Alternativ kommen auch dreidimensionale Fachwerke zum Einsatz. Die kanadische Firma «Multipoint Foundations» hat ein entsprechendes Fachwerkssystem entwickelt und patentiert. Angewendet wurde dieses System beispielsweise bei einem einstöckigen Neubau in Kwigillingok an der Südwestküste Alaskas. [15]

#### Pfähle

Für Foundationen in diskontinuierlichen Permafrostböden empfiehlt [14] die Verwendung von Pfahlfundamenten. [16] bezeichnet Tiefenfundamenten in alpinem Permafrost als «Ausnah-

mefall». In arktischen Breitengraden finden sie eine breitere Anwendung. Werden Pfahlfundationen mit einem Zwischenraum zwischen Bauwerk und Baugrund eingesetzt (vgl. Abb. 3a, f), werden sie dem «passiven Ansatz» angerechnet. In degenerierendem Permafrost werden Pfahlssysteme dem «adaptiven Ansatz» zugeordnet. [5]

Diverse Patente liegen für Pfahlssystemen in gefrorenen Böden vor. Einige sollen die Tragfähigkeit über aussenliegende Strukturen erhöhen, andere kombinieren die Pfähle zusätzlich mit Kühleinrichtungen. Dabei sind auch Systeme in Kombination mit Jet-Grouting patentiert.

Die Qinghai-Tibet Railway verbindet über 1142 km Golmud mit Lhasa. Auf rund 125 km wurden Pfahlfundationen verbaut, um eisreichen und instabilen Permafrost zu überbrücken. Bei der 600 m langen «Trockenbrücke» im Tanggula-Gebirge haben einige der eingesetzten Pfahlfundationen versagt. Ursachen werden u.a. im kleiner werden Permafrostkörper und der damit verringerten Mantelreibung vermutet. Ferner führten hohe plötzlich auftretende Setzungsraten zu einer verminderten Residualscherfestigkeit entlang des Pfahls. [17]

### Methoden zur Kontrolle der Bodentemperatur

Sollen die temperaturabhängigen Bodeneigenschaften eines Permafrostbodens nicht verändert werden, kommen thermische Systeme zum Einsatz (vgl. Abb. 3). Sie werden dem «passiven Ansatz» zugeschrieben [18, p. 1]. Systeme mit externer Energieversorgung werden als «aktive Kühlsysteme», solche ohne externe Energieversorgung als «passive Kühlsysteme» bezeichnet [16, p. 110].

### SEF: Structurally Enhanced Foundations

SEF kommen vorwiegend in andauernd gefrorenen Sanden oder Kiesen in Alaska zum Einsatz und werden dem «Adaptiven Ansatz» für permanente Bauten angerechnet [5, p. 167]. Dabei handelt es sich um verstärkte T-förmige Streifenfundamente, mit denen die Aussenwände von einfachen Gebäuden ohne Untergeschosse fundiert werden. Sie sind zielführend bei Wohnbauten und leichten Geschäftsbauten (häufig einstöckig). [14]

Für SEF konnten keine patentierten Lösungen gefunden werden. Dokumentiert ist ein Betriebs- und Bürogebäude in Alaska.

### In Höhe und/oder Lage anpassbare Systeme

Systeme mit Einrichtungen zur Ausgleichung von differentiellen Setzungen und horizontalen

Verschiebungen werden verwendet, wenn Böden unzureichende Festigkeitseigenschaften aufweisen oder wenn Permafrost und Eislinien unter einer ausreichend guten Bodenschicht auftreten [14]. Sie sind dem «Adaptiven Ansatz» zuzuschreiben.

Eindrücklicher Vertreter dieser Bauweise ist das Restaurant und Kongresszentrum «Paradorama» in Ischgl, Österreich. Ein System mit Dreipunkteleragerung kann unter Einsatz von hydraulischen Pressen differentielle Bodenbewegungen ausgleichen. [19]

Patente für höhenverstellbare Systeme für den Einsatz bei Seilbahnanlagen sind nicht vorhanden. Es existieren patentierte Lösungen, welche bei Masten von Hochspannungsleitungen zum Einsatz kommen.

### Bodenersatz und Aufschüttung

Bauwerke in frostanfälligen Böden können auch so konzipiert werden, dass der Boden rund um die Fundation nicht gefrieren kann. Dies wird mit geeigneter Isolation erreicht. Andernfalls muss der frostanfällige Bodenanteil durch frostsicheres Material (Non-frost-susceptible soil = NFS) ersetzt werden. Dieses Vorgehen wird dem «Aktiven Ansatz» zugeschrieben. [5]

Als frostsicheres Aufschüttungsmaterial gilt

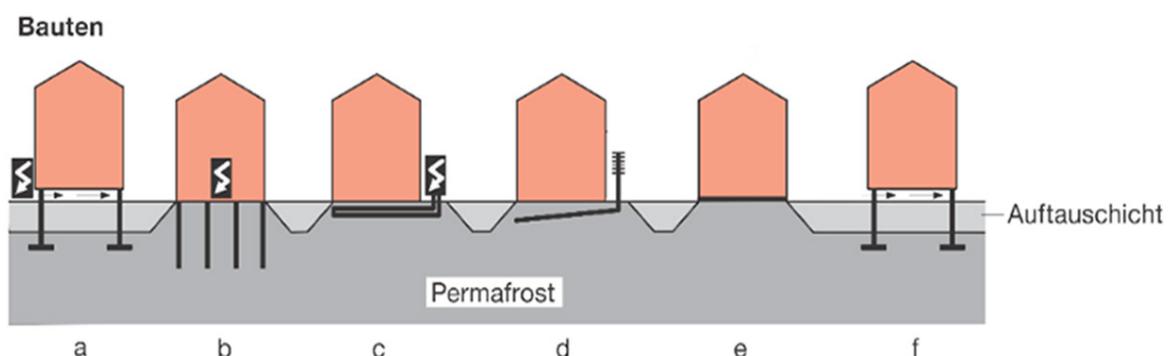


Abbildung 3: Verschiedene Kühlsysteme. Aktive: a) Zwangslüftung, b) gekühlte Pfähle, c) künstliches Kühlen, Gefrieren mit Flüssigkeit. Passive: d) Thermosyphon, e) Wärmedämmung, f) Luftzwischenraum [16, p. 110].

ein gut abgestufter, sauberer Kies oder Sand mit einem Feinanteil unter 3 Gewichtsprozenten, also GW oder SW der USCS-Klassifikation. Bei Bedarf kann in der Aufschüttung zusätzlich eine Isolationsschicht eingebaut werden. [5, 16]

Häufig werden Gebäude, die auf einer Aufschüttung zu liegen kommen, mit Systemen wie bspw. Belüftungsräumen unter beheizten Innenräumen, zusätzlichen Isolationsschichten, Thermosyphons oder belüfteten Aufschüttungen kombiniert, um Veränderungen am Temperaturregime im Untergrund zu minimieren. Zur ergänzenden Stabilisierung und Erhöhung der Tragfähigkeit können Geotextile und Bewehrungsmatten zum Einsatz kommen [12].

## Fazit

Die Literatur-, Patent- und Projektrecherchen zeigen, dass für eine Vielzahl von Problemstellungen bewährte Lösungskonzepte vorhanden sind. Umfangreiche Baugrunduntersuchungen und die Evaluation angemessener Fundationsmethoden vor Baubeginn entscheiden wesentlich über Erfolg oder Misserfolg der gewählten Baumethode. Damit wird jedes Bauwerk zu einem Einzelfall mit individuellen Anforderungen.

## Literatur

- [1] J. F. Nixon, "Discrete ice lens theory for frost heave beneath pipelines," *Can. Geotech. J.*, vol. 29, no. 3, pp. 487–497, 1992, doi: 10.1139/t92-053.
- [2] L. U. Arenson, "Unstable Alpine Permafrost: A Potentially Important Natural Hazard: Variations of Geotechnical Behaviour with Time and Temperature," Dissertation, ETH Zürich, Zürich, Schweiz, 2002.
- [3] H. M. French, *The periglacial environment*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2018.
- [4] WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Permafrost. [Online]. Available: <https://www.slf.ch/en/permafrost.html> (accessed: Nov. 29 2018).
- [5] O. B. Andersland and B. Ladanyi, *Frozen ground engineering*, 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2004. [Online]. Available: <http://www.loc.gov/catdir/bios/wiley044/2003017784.html>
- [6] F. E. Crory, "Settlement Associated with Thawing of Permafrost," in *Proceedings of the Second International Conference on Permafrost*, Yakutsk, USSR, 1973.
- [7] J. F. Nixon and B. Ladanyi, "Thaw consolidation," in *Geotechnical engineering for cold regions*, O. B. Andersland, Ed., 1st ed., New York u.a.: McGraw-Hill, 1978.
- [8] H. Veit, *Die Alpen: Geoökologie und Landschaftsentwicklung*. Stuttgart: Ulmer, 2002.
- [9] P. J. Williams and M. W. Smith, *The frozen earth: Fundamentals of geocryology* / Peter J. Williams and Michael W. Smith, 1989.
- [10] O. B. Andersland, Ed., *Geotechnical engineering for cold regions*, 1st ed. New York u.a.: McGraw-Hill, 1978.
- [11] L. U. Arenson, M. Phillips, and S. M. Springman, "Geotechnical Considerations and Technical Solutions for Infrastructure in Mountain Permafrost," in *New permafrost and glacier research*, M. I. Krugger and H. P. Stern, Eds., New York, NY: Nova Science Publ, 2009, pp. 3–50.
- [12] C. Bommer, M. Phillips, and L. U. Arenson, "Practical recommendations for planning, constructing and maintaining infrastructure in mountain permafrost," *Permafrost Periglacial Process.*, vol. 21, no. 1, pp. 97–104, 2010, doi: 10.1002/ppp.679.
- [13] S. W. Muller, H. French, and F. Nelson, *Frozen in Time: Permafrost and Engineering Problems*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2008.
- [14] E. S. Clarke, Ed., *Permafrost foundations: State of the Practice*. Reston, Va: American Society of Civil Engineers, 2007.
- [15] W. Vangoor, "Foundations for Retrofit and New Construction in Permafrost, Discontinuous Permafrost, and Other Problem Soil Areas," in *Cold Regions Engineering 2015*, Salt Lake City, Utah, 2015, pp. 264–275.
- [16] C. Bommer, Ed., *Bauen im Permafrost: Ein Leitfaden für die Praxis*. Birmensdorf: WSL, 2009.
- [17] Y. You et al., "Causes of pile foundation failure in permafrost regions: The case study of a dry bridge of the Qinghai-Tibet Railway," *Engineering Geology*, vol. 230, pp. 95–103, 2017, doi: 10.1016/j.enggeo.2017.10.004.
- [18] A. M. Wagner, "Review of Thermosyphon Applications," *US Army Corps of Engineers*, 72 Lyme Road, Hanover, New Hampshire, 2014.
- [19] G. Gürtler, "Fehlstellung ausgleichen," *Tec21*, 5-6, pp. 27–29, 2010, doi: 10.5169/SEALS-109562.

## Neue Filme zum Thema Objektschutz



„Auf der Oberflächenabflusskarte konnte man sehen, dass wir in einer Gefahrenzone sind. Das Wasser sucht sich den Weg zwischen unserem und dem hintern Haus, weil dort der tiefste Punkt ist.“ (Hausbesitzerin)



„Es ist wünschenswert, dass der Objektschutz schon bei der Konzeption einfließt. So kann ich eine Höhenlage des Gebäudes berücksichtigen oder schon frühzeitig die Schutzhöhe definieren. So muss ich es nicht im Nachgang lösen und kann es gut in die Architektur integrieren.“ (Architekt)

## Erfolgreicher Objektschutz - Strategien zum Schutz vor Überschwemmungen

Überschwemmungen verursachen massive Gebäudeschäden, die durch einfache bauliche Vorsorgemaßnahmen wesentlich reduziert werden könnten. Im Rahmen des Pilotprogramms Anpassung an den Klimawandel sind drei praxisnahe Filme entstanden, die Hausbesitzer und PlanerInnen für Gefahren durch Überschwemmungen sensibilisieren und dazu motivieren, risikoreduzierende Vorkehrungen zu treffen:

**Film 1: Oberflächenabfluss: Einfamilienhaus in Rain, Kanton Luzern**

**Film 2: Wildbäche: Einfamilienhaus in Stansstad, Kanton Nidwalden**

**Film 3: Seehochwasser: Mehrfamilienhaus in Locarno, Kanton Tessin**

### Wie kann man die Filme einsetzen?

Die Filme eignen sich als Einführung bei Vorträgen, bei Versammlungen und in der Öffentlichkeitsarbeit, um in den verschiedenen Netzwerken Diskussionen zum Thema Prävention vor Hochwasserschäden auszulösen. Aktuell auch bei online Tagungen und mit E-learning Formaten! Die Filme werden als YouTube Links als Trailer (1-minütig) und als vollständiger Film (ca. 10-minütig) mit Untertiteln in DE, FR, IT und EN zur Verfügung gestellt:



## Une protection des biens immobiliers réussie - stratégies pour la protection contre les inondations

Les inondations causent des dégâts importants aux bâtiments, qui pourraient être considérablement réduits par de simples mesures de précaution constructives. Trois films axés sur la pratique ont été produits dans le cadre du programme pilote "Adaptation au changement climatique" afin de sensibiliser les propriétaires et les urbanistes aux dangers d'inondation et de les inciter à prendre des précautions pour réduire les risques

**Film 1 : Eaux de ruissellement : maison individuelle à Rain, dans le canton de Lucerne**

**Film 2 : Torrents : maison individuelle à Stansstad, dans le canton de Nidwald**

**Film 3 : Inondations dues aux lacs: immeuble locatif à Locarno, dans le canton du Tessin**

### Comment les films peuvent-ils être utilisés ?

Les films peuvent servir d'introduction lors de conférences, de réunions et de travaux de relations publiques. Ils permettent de déclencher des discussions dans les différents réseaux sur le thème de la prévention des dommages causés par les inondations. D'actualité également lors de conférences en ligne et avec des formats d'apprentissage en ligne:

