



FAN

Fachleute Naturgefahren
Spécialistes des dangers naturels
Specialisti in pericoli naturali

1/2020

AGENDA

FAN-Forum 2020

Umgang mit Klimaszenarien

Gestion des scénarios climatiques



Unteraargletscher im Grimselgebiet. Foto: Kanton Bern, Nils Häfeli

Inhalt

Umgang mit zukünftigen Extremen aus den Klimaszenarien CH2018.....	5
SBB im Spannungsfeld des Klimawandels	11
Die Auswirkungen des Klimawandels auf alpine Massenbewegungen: Das WSL Forschungsprogramm CCAMM.....	15
Zukünftige Gefahren und Risiken aus gefrorenen Felswänden im Wallis.....	18
Vorhersage der Disposition für Taufflutungen.....	25
Auswirkungen des Klimawandels auf Häufigkeit und Ausmass von Hochwasserereignissen in gebirgigen Einzugsgebieten.....	30
Wenn das Gletscherwasser kommt.....	34
Umsetzung Klimaszenarien in der Praxis.....	40
Analyse de risque pour les services de secours: une aide pour la priorisation des interventions.....	44

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 geo 7, Sonja Cosandey
 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

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.

Vorwort

Liebe Leserinnen, liebe Leser

Liebe Mitglieder der FAN

In Zeiten von COVID-19 und nationaler Pandemie rückt der Klimawandel und die Bewältigung der damit verbundenen, neuen Herausforderungen beim Gefahren- und Risikomanagement ins zweite Glied. Wir hoffen, dass es Euch allen gut geht und wünschen Euch hiermit sowohl im Namen des FAN-Ausschusses wie auch des Redaktionsteam alles Gute.

Bliibet gsund und häbet Soorg!

Am 28. Februar 2020, am Tag, an dem der Bundesrat grössere Veranstaltungen verbot, haben sich im Alten Spital in Solothurn 180 Interessierte eingefunden, um am diesjährigen FAN-Forum 2020 neue Erkenntnisse zum Klimawandel zu erlangen und Einblicke in Praxisbeispiele zum «Umgang mit Klimaszenarien» zu gewinnen.

Seit einem guten Jahr liegen verschiedene neue Grundlagen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Naturgefahren (und andere Sektoren) vor. Die erwarteten klimatischen Veränderungen sind jedoch nur einer von zahlreichen Faktoren in der Gefahrenbeurteilung, welche mit beachtlichen Unsicherheiten behaftet sind. Bis anhin entsprach das Positionspapier der KOHS aus dem Jahr 2007 vielerorts der gelebten Praxis zum Umgang mit den Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasser, aber teils auch anderen Gefahrenprozessen. In neueren Berichten, wie etwa den Klimaszenarien CH2018 des *National Centre for Climate Services* (NCCS) oder Veröffentlichungen zu Niederschlags-Extremwertstatistiken, werden nun konkretere Angaben zu den erwarteten Veränderungen meteorologischer und klimatischer Parameter gemacht als dies noch vor 15 Jahren der Fall war. Zudem sind besonders im Hochgebirge seit einigen Jahren teils massive Veränderungen bei den Gefahrenprozessen zu beobachten, welche uns schon jetzt ansatzweise erahnen lassen, wie der Klimawandel gravitative Naturgefahren beeinflussen wird.

Ziel des FAN-Forums 2020 war es deshalb, den Mitgliedern einen Überblick über die wichtigsten, aktuellen Grundlagen zu Klimaszenarien und deren Umsetzung in der Gefahrenbeurteilung zu ermöglichen. Dies erfolgte durch ein Eintretensreferat, das über die allgemein zugänglichen Informationen von CH2018 hinausging und so spezifische Hinweise auf die möglichen Einflüsse des Klimawandels gerade bei Gefahrenprozessen lieferte. Nebst diesen Grundlagen zu den Auswirkungen des Klimawandels und meteorologischer Extremereignisse auf die Schweiz wurden mit Vorträgen und sehr zahlreichen Postern auch verschiedene Beispiele erläutert, wie Verwaltungsstellen, Fachbüros und die Forschung bei Gefahrenbeurteilungen und der Planung von Schutzmassnahmen mit dem Faktor Klimawandel umgehen.

Die grosse Teilnehmerzahl, die regen Diskussionen am Forum und anlässlich der Postersession sowie die Resultate des Mentimeters haben uns klar gezeigt, dass das Thema «Umgang mit Klimaszenarien» nicht nur sehr aktuell ist, sondern nach wie vor zahlreiche Unsicherheiten bei der Beurteilung von Gefahrenprozessen in einem sich ändernden klimatischen Umfeld bestehen. So erstaunt es auch nicht, dass die Teilnehmenden sich eine weitere Bearbeitung des Themas durch die FAN wünschen.

Die vorliegende Agenda gibt Ihnen einen sehr guten Eindruck über die Breite und Tiefe der Themen, die anlässlich des Forums präsentiert und diskutiert wurden.

Wir wünschen Ihnen viel Vergnügen bei der Lektüre der FAN-Agenda,

Markus Stoffel, Veronika Röthlisberger, Hubert Meusburger und Nils Hählen
OK FAN-Forum 2020

PS: Beiliegend zur dieser Agenda 1/2020 finden Sie das Leporello "Valutare e decidere in situazioni di pericolo acuto", eine Übersetzung des Faltblattes "Beurteilen und entscheiden in akuten Gefahrensituationen" und "Évaluer et décider dans des situations de danger aigu", welche wir Ihnen mit der Agenda 01/2019 zugestellt haben.

Es handelt sich übrigens um das erste offizielle FAN-Dokument, welches in drei Landessprachen erschienen ist.

Hinweis zu neuen Fallstudien

Risikoreduktion durch den Schutzwald

Im Rahmen zweier Fallstudien untersuchten die SBB und das BAFU in einem Projekt mit der Berner Fachhochschule und Geoformer ipg AG die Risikoreduktion durch den Schutzwald auf Bahnstrecken. Dabei kam die Methode Protect-Bio zur Anwendung. Diese Methode erlaubt es, die Wirkung des Schutzwaldes analog zu derjenigen von Schutzbauten zu beurteilen. Sowohl bei flachgründigen Rutschungen wie auch bei Steinschlag war die Risikoreduktion durch den Wald beträchtlich und das Nutzen-Kostenverhältnis positiv. Die Fallstudien werden auf der Homepage des BAFU veröffentlicht.

Abrufbar unter:

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/naturgefahren/fachinformationen/umgang-mit-naturgefahren/naturgefahren-massnahmen/naturgefahren-biologische-massnahmen.html>





*Blick vom Bärnji auf den Bergsturz Grossgufer (1991) und die Zunge des Bisgletschers; zwei prägende Landschaftselemente rund um das Bergdorf Randa.
Bild: Daniel Bürki, 2016*



Erosionsspuren in der ehemaligen Seitenmoräne entlang des Rotbachs im Gletschervorfeld des Weingartengletschers. Bild: Daniel Bürki, 2016

Umgang mit zukünftigen Extremen aus den Klimaszenarien CH2018

Andreas Fischer ¹ (andreas.fischer@meteoswiss.ch)
Sven Kotlarski ¹ (sven.kotlarski@meteoswiss.ch)

¹ Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Résumé

Selon les scénarios climatiques CH2018, les caractéristiques des événements climatiques extrêmes changent. Pour la première fois, les scénarios climatiques fournissent également des informations quantitatives sur leurs changements. Toutefois, sur le plan pratique, la gestion des changements futurs à l'échelle locale est souvent associée à des défis majeurs. En prenant l'exemple des précipitations extrêmes, cet article compare les incertitudes du climat actuel avec les valeurs des changements futurs. Pour les événements rares, il ressort que les valeurs de changement sont souvent inférieures aux incertitudes du climat actuel. Comme première étape de l'adaptation au changement climatique futur, il est donc conseillé de prendre en compte les incertitudes et les variations du climat actuel lors de la planification.

Zusammenfassung

Gemäss den Klimaszenarien CH2018 verändern sich die Charakteristika von extremen Klimaereignissen. Erstmals geben die Klimaszenarien auch in quantitativer Form Auskunft zu deren Änderungen. Oft jedoch ist der Umgang mit zukünftigen Änderungswerten auf der lokalen Skala aus Praxissicht mit grossen Herausforderungen verbunden. Der vorliegende Artikel vergleicht am Beispiel der Extremniederschläge die Unsicherheiten im heutigen Klima mit den zukünftigen Änderungswerten. Für seltene Ereignisse zeigt sich, dass die Änderungswerte oft kleiner sind als die Unsicherheiten im heutigen Klima. Als ersten Schritt bei der Anpassung an den zukünftigen Klimawandel ist es deshalb ratsam, die Unsicherheiten

und Variabilitäten im heutigen Klima bei Planungen zu berücksichtigen.

Die aktuellen Klimaszenarien CH2018

Für die Planung und Umsetzung von Anpassungsmassnahmen sind verlässliche und detaillierte Informationen zum künftigen Klima eine wichtige Grundlage. Aus diesem Grund hat der Bundesrat das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz beauftragt, regelmässig Klimaszenarien für die Schweiz bereitzustellen. MeteoSchweiz hat diesen Auftrag umgesetzt und Ende 2018 die Klimaszenarien CH2018 veröffentlicht. Sie wurden in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich und anderen Partnern als Themenschwerpunkt des National Center for Climate Services (www.nccs.ch) erarbeitet. Die Szenarien berücksichtigen die Erkenntnisse aus dem fün-

ten Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) und basieren auf den aktuellsten Klimasimulationen. Sie beschreiben, wie sich das Klima in den verschiedenen Landesteilen bis Mitte dieses Jahrhunderts und darüber hinaus verändern kann. Dabei werden drei mögliche Entwicklungen der zukünftigen Treibhausgasemissionen berücksichtigt:

- Konsequentes Klimaschutzszenario, in dem die Emissionsreduktionsziele des Übereinkommens von Paris erfüllt werden (RCP2.6)
- Szenario ohne Klimaschutzmassnahmen, in dem die globalen Emissionen stetig weiter ansteigen (RCP8.5)
- Ein intermediäres Szenario mit einem weniger starken Anstieg der globalen Emissionen bis circa Mitte Jahrhundert und einem anschliessenden Abflachen (RCP4.5)

100-jähriger Wiederkehrwert des 1-Tages-Niederschlags

Abweichung von der Normperiode 1981-2010

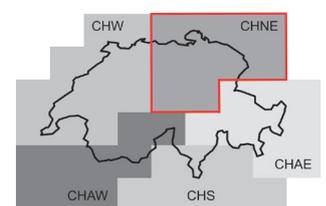
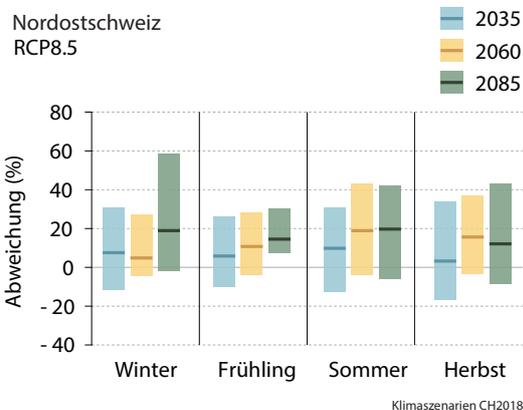


Abbildung 1: Änderungen des 100-jährigen Wiederkehrwerts des 1-Tages-Niederschlags für drei zukünftige Zeitperioden gegenüber 1981-2010 gemäss CH2018. Die Balken widerspiegeln die Unsicherheiten aus Klimamodellsimulationen für das RCP8.5 Emissionsszenario und die Region Nordostschweiz («CHNE»). Die horizontalen Striche bezeichnen eine mittlere (erwartete) Änderung.

Die Klimaszenarien CH2018 zeigen, dass sich das Klima in der Schweiz weiter verändern wird. Bei ungebremst steigenden Treibhausgasemissionen muss hierzulande bis Mitte Jahrhundert mit einem weiteren Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 2.0 bis 3.3°C gegenüber der Normperiode 1981-2010 gerechnet werden, bis Ende Jahrhundert sogar um 3.3 bis 5.4°C. Bei Einhaltung der Ziele des Übereinkommens von Paris könnte die Erwärmung bis Ende Jahrhundert um rund zwei Drittel reduziert werden.

Der Klimawandel wird jedoch nicht nur zu höheren Temperaturen, sondern auch zu einer Veränderung der Häufigkeit, der Intensität und der Dauer verschiedener Klimaextreme führen. So werden Hitzeextreme, Hitzewellen und sommerliche Trockenperioden zunehmen, während Kälteextreme und Kältewellen abnehmen. Gleichzeitig werden Starkniederschläge in Zukunft merklich häufiger auftreten und intensiver ausfallen als wir es heute erleben. Die Hintergründe zur Veränderung von

Extremen und mehr regionale Details sind auf einer neu erarbeiteten Seite des NCCS-Webauftritts erhältlich

(<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/schweizer-klimaszenarien/zahlen-und-fakten/klimaextreme.html>).

Zukünftige Veränderungen in Extremen bergen potenzielle Gefahren für Menschen, Tiere und Infrastrukturen. Ein gutes Verständnis der zukünftigen Entwicklung von Extremen und deren Folgen ist deshalb zentral, um geeignete Anpassungsmassnahmen zu planen. Im Gegensatz zu früheren Abschätzungen, in denen rein qualitativ über die zukünftigen Trends in Klimaextremen berichtet wurde, liefern die aktuellen Klimaszenarien CH2018 nun auch konkrete quantitative Werte. Beispielhaft zeigt Abbildung 1 die prozentualen Änderungen im 1-Tages-Extremniederschlag (hier eines 100-jährlichen Ereignisses) für die Region Nordostschweiz und unter Annahme des RCP8.5 Szenarios.

In gleicher Form wie Abbildung 1 sind über den Webatlas der Klimaszenarien CH2018 für eine Reihe von Temperatur- und Niederschlagsindizes Änderungen über den fünf Grossregionen der Schweiz erhältlich. Sie widerspiegeln Änderungswerte, die typischerweise in diesen Gebieten von Klimamodellen simuliert werden. Da die Klimamodelle auf einer groben räumlichen Skala von 12-50 km rechnen, sind die Werte repräsentativ für Flächen, jedoch nicht für Punktinformationen. Ebenso muss beachtet werden, dass die Werte von Klimamodell zu Klimamodell erheblich schwanken. Dies ist anhand der farbigen Balken dargestellt.

Wie soll diese neue Informationsgrundlage aus den Klimaszenarien CH2018 aus Praxis-sicht (z.B. im Naturgefahrenbereich) optimal für Anwendungen eingesetzt werden?

Tabelle 1: Hauptmerkmale der Extremanalysen für Starkniederschläge von MeteoSchweiz und CH2018.

	Extremwertanalysen Meteo Schweiz	Extremniederschlag CH2018
Räumliche Information	Information an einem Punkt (Fläche von 200 cm ²)	Information einer Modell-Gitterzelle von 12 x 12 km ² bzw. 50 x 50 km ² (Wiederkehrwerte räumlich gemittelt für fünf CH2018-Regionen)
Referenzperiode	1966-2015	Änderungen gegenüber 1981-2010
Zeitliche Granularität	Jährliche Extremwertanalysen	Jahreszeitliche Änderungen
Zugrundeliegende Methodik	Block-Maximum-Extremwertanalyse; Schätzung der GEV (Generalized Extreme Value)-Verteilungsparameter mittels Bayesschen Verfahrens	«Klassische» Block-Maximum-Extremwertanalyse mit GEV - Verteilung

Praktische Herausforderungen beim Umgang mit Extremen

Anpassung an den Klimawandel und an veränderte Extreme (z.B. Re-Dimensionierung eines Entwässerungssystems aufgrund intensiverer Starkniederschläge) bedingt Daten und Informationen am entsprechenden Ort zur Klimazukunft. Dabei genügt es nicht, lediglich die zukünftigen Änderungssignale zu kennen: entscheidend ist der zukünftige Wert in absoluter Form, also z.B. der Wiederkehrwert eines 100-jährlichen Starkregenereignisses repräsentativ für den Zeitraum 2060 oder der zukünftig heisseste Tag des Jahres Ende Jahrhundert.

Als pragmatischen Ausweg bietet es sich an, Änderungssignale wie in Abbildung 1 auf Extremwertanalysen, wie sie an Messstationen ermittelt wurden, aufzuschlagen. Da die Änderungen aus CH2018 jedoch repräsentativ für die Niederschlagsmenge auf einer Fläche von mehr als hundert Quadratkilometern sind (siehe oben), ist dieses Vorgehen strikt genommen jedoch nur dann zulässig, wenn die Änderungen relativ homogen im Raum sind und nur eine geringe Skalenabhängigkeit aufweisen – sprich, wenn zu erwarten ist, dass sich die lokalen Änderungen nicht allzu stark von denjenigen gross-skaliger Gebiete unterscheiden. Für die Temperaturextreme ist dies mehrheitlich gerechtfertigt und wurde so in der CH2018 Broschüre exemplarisch zur Ermittlung der zukünftigen Jahreshöchsttemperatur an einem spezifischen Ort umgesetzt.

Bei Extremniederschlägen ist die Sachlage komplizierter: die Extremwertstatistiken der MeteoSchweiz (www.klima-extreme.ch) sind anders hergeleitet als deren Änderungen aus CH2018. Nebst den Unterschieden in der räumlichen Skala bestehen Unterschiede in der zugrundeliegenden Methodik, in der Auswahl der Referenzperiode und in der zeit-

lichen Granularität (Tabelle 1). Hinzu kommt, dass Extremniederschläge bereits im heutigen Klima sehr grosse Unsicherheiten aufweisen, welche sich besonders bei sehr seltenen Ereignissen schnell vergrössern (siehe schwarz gestrichelte Linien in Abbildung 2): das gezeigte Konfidenzintervall (Abstand zwischen den zwei schwarz gestrichelten Linien) umfasst mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% den «wahren» Wert. Für Anwendungen wie z.B. Dimensionierungen wird empfohlen, diese Unsicherheit bereits für Anwendungen im heutigen Klima mit zu berücksichtigen. Dies führt zu insgesamt robusteren Entscheiden, die weniger anfällig sind auf Veränderungen der Schätzung, zum Beispiel dann, wenn neue Starkniederschlagsereignisse in die Analyse aufgenommen werden.

Wie gross sind nun die zukünftigen klimabedingten Verschiebungen im Vergleich zu den Unsicherheiten aus der Extremwertstatistik? Ist der Unsicherheitsbereich im heutigen Klima so gross, dass auch zukünftige Extremwerte darin enthalten sind? Dies wird nachfolgend detailliert betrachtet.

Starkniederschläge - zukünftige Änderungen gegenüber heutigen Unsicherheiten

Für einen quantitativen Vergleich der heutigen und zukünftigen Niederschlagsextreme wurden die Schätzungen der heutigen Extremwertstatistiken (beste Schätzung und 95%-Konfidenzintervall) mit den Änderungswerten aus CH2018 für verschiedene Jährlichkeiten skaliert. Da die Klimaszenarien CH2018 keine Änderungen über das gesamte Jahr bieten, wurde jeweils der Median über die vier saisonalen Werte verwendet. Abbildung 2 zeigt exemplarisch für die Station Luzern die zukünftigen Wiederkehrwerte des 1-Tages-Niederschlags für den Zeitraum 2060. Abhängig von der Stärke der Zunahme in den

Wiederkehrwerten gemäss CH2018 (hier angenommen wurde eine mittlere und maximale Zunahme gemäss Unsicherheitsbereich aus CH2018) verschieben sich die Kurven der besten Schätzung und des Konfidenzintervalls unterschiedlich stark nach oben. Aus Abbildung 2 ist erkenntlich, dass die zukünftigen besten Schätzungen ab einer Wiederkehrperiode von 20 Jahren innerhalb des heutigen Unsicherheitsbereichs liegen. Dies ist selbst bei einer maximalen Zunahme der Fall (rot durchgezogene Linien).

Inwiefern ist dieses Resultat verallgemeinerbar für die gesamte Schweiz? Um diese Frage zu klären, wird die Analyse auf alle Messstationen der Schweiz ausgeweitet und schliesslich mit den Änderungswerten aller CH2018-Regionen verglichen. Beginnen wir zuerst mit dem Unsicherheitsbereich aus den Extremwertstatistiken im heutigen Klima (1966-2015) abgeleitet aus Messdaten. Da Extremniederschläge in der Tendenz zukünftig zunehmen dürften (um 6-7% pro Grad Erwärmung), beschränken wir die Analyse auf einen relativen Vergleich des oberen Unsicherheitsbereichs: Abbildung 3 zeigt das Verhältnis der oberen Kante des Konfidenzintervalls (97.5% - Quantil) zur besten Schätzung. Ein Wert von +50% bzw. +100% bedeutet also, dass der obere Rand des Unsicherheitsbereichs um einen Faktor 1.5 bzw. 2 höher liegt als die beste Schätzung.

Aus den Resultaten zeigt sich schweizweit das folgende Bild: die obere Kante des Unsicherheitsbereichs liegt bei einem 20-jährlichen Ereignis typischerweise um bis zu 20% höher, kann an gewissen Stationen aber durchaus bis +30% betragen. Wie zu erwarten, steigt dieser Anteil an allen Stationen mit höherer Jährlichkeit (grössere Unsicherheit bei Extremen mit hoher Jährlichkeit, siehe Abbildung 2). Bei einem 50-jährlichen Ereignis liegt der obere Rand der Unsicherheiten bei einer

Vielzahl der Stationen bei +50%, obwohl es auch immer noch viele Stationen gibt, die eine deutlich tiefere Unsicherheit haben. Bei einem 100-jährlichen Ereignis schliesslich kann der obere Rand der Unsicherheiten an einer Reihe von Stationen bei bis zu +100% liegen (rote Punkte in Abbildung 3).

Wie gross sind diese Werte im Vergleich zu den Änderungswerten aus den Klimaszenarien CH2018? Abbildung 4 zeigt für alle fünf Schweizer Grossregionen und für die Zeitperiode 2060 die möglichen Änderungen gemäss Unsicherheitsbereich aus CH2018 unter Annahme des Emissionsszenarios RCP8.5. Dabei wird ersichtlich, dass die mittlere Änderung nie grösser ist als 20% und dass die maximale Zunahme in keiner Region +40% übersteigt. Die gemeinsame Betrachtung von Abbildung 3 und Abbildung 4 lässt also den Schluss zu, dass die zukünftig besten Schätzungen bei Annahme einer mittleren Zunahme schon ab Jährlichkeiten von 20 Jahren innerhalb des Unsicherheitsbereich der heutigen Extremwertstatistiken liegen. Bei Annahme von maximalen Änderungswerten aus CH2018 liegen sie an einer Vielzahl von Stationen ab Jährlichkeiten von 50 Jahren innerhalb des Bereichs.

Diese Schlussfolgerung gilt umso mehr für Änderungen in den Klimaszenarien bei An-

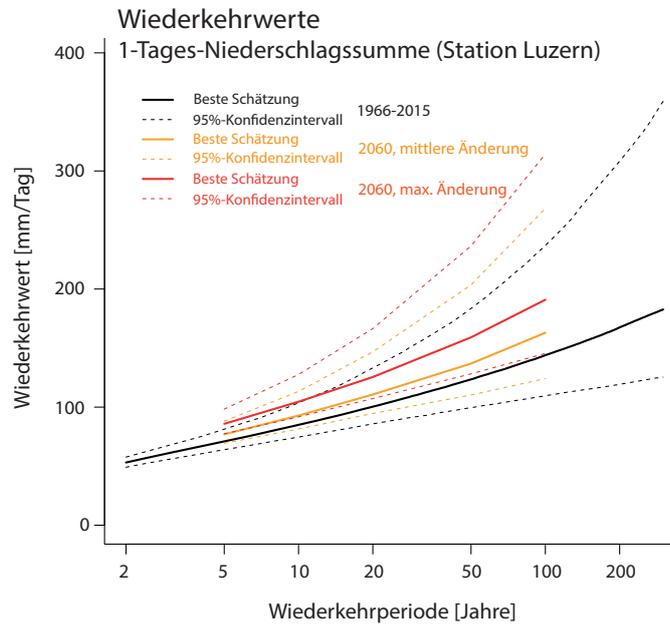


Abbildung 2: Extremwertanalysen an der Messstation Luzern für die Periode 1966-2015 (schwarz) und für die Zukunft um 2060 gemäss zweier Annahmen zur zukünftigen Änderung: mittlere Änderung (orange) und maximale Änderung (rot) gemäss Unsicherheitsbereich aus CH2018 (siehe Abbildung 1). Durchgezogene Linien bezeichnen jeweils den Median (beste Schätzung), gestrichelte Linien das 95%-Konfidenzintervall (2.5% und 97.5% Quantil). Um Werte für die Zukunft zu erhalten, wurden die Wiederkehrwerte von 1966-2015 für alle Quantile mit demselben Faktor skaliert.

nahme weniger starken Emissionsszenarien wie RCP2.6 und RCP4.5 und für kurzfristigere Zeitperioden wie 2035. Sie lassen sich auch auf mehrtägige extreme Niederschlagsereignisse übertragen. In CH2018 wurden nebst den 1-Tages-Niederschlagssummen auch solche über drei und fünf Tagen analysiert. Grundsätzlich sollte jedoch beachtet werden, dass sich mit den erwarteten Änderungen in den Extremen nicht nur die beste Schätzung

nach oben verschiebt, sondern auch die Konfidenzintervalle. Die oberen Kanten dieser Intervalle werden sich noch weiter nach oben schieben, wie Abbildung 2 verdeutlicht. Weiterhin sei nochmals darauf hingewiesen, dass in obiger Analyse Unsicherheiten des Punktniederschlags mit Änderungssignalen über Flächen von hundert Quadratkilometern und mehr verglichen werden, was mögliche Inkonsistenzen bedingen kann.

Unsicherheiten Extremwertstatistiken

Verhältnis 97.5% - Quantil zur besten Schätzung

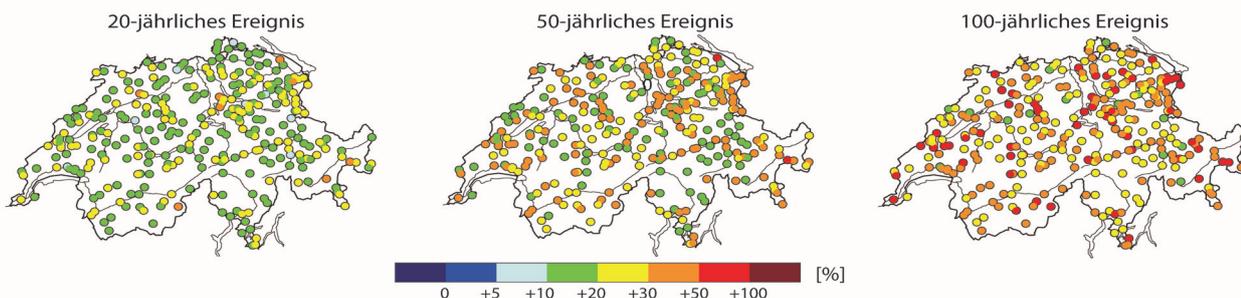


Abbildung 3: Verhältnis des 97.5% Quantils (obere schwarz gestrichelte Linie aus Abbildung 2) zum Median (schwarz durchgezogene Linie aus Abbildung 2) an allen Messstationen, an denen die Qualität der Extremwertstatistik gemäss MeteoSchweiz mit dem Prädikat «gut» beurteilt wurde. Die drei Karten zeigen verschiedene Wiederkehrperioden des 1-Tages-Niederschlags.

Empfehlung für die Praxis

Der obige Vergleich des Extremniederschlags im heutigen Klima mit seinen zukünftigen Änderungen unterstreicht die Wichtigkeit, Unsicherheiten im heutigen Klima zu berücksichtigen. Im Sinne des Vorsorgeprinzips kann auch für Anwendungen zur Anpassung an den zukünftigen Klimawandel geraten werden, als ersten Schritt die Unsicherheiten des heutigen Klimas (insbesondere den oberen Rand der Unsicherheiten) in Planungen zu berücksichtigen. Das Portal www.klima-extreme.ch ermöglicht die Klassifizierung von extremen Niederschlagsereignissen und stellt die entsprechenden Grundlagendaten für Planung und Dimensionierung frei zur Verfügung. Es wurde in einer Kooperation vom Bundesamt für Umwelt und dem Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz erstellt. Die Inhalte werden laufend erweitert. So stellt das Portal neu beispielsweise räumliche Informationen zu extremen Punktniederschlägen und deren Unsicherheiten zur Verfügung. Die Wichtigkeit, projizierte Änderungen aus den Klimaszenarien mit vergangenen Messreihen einzuordnen, beschränkt sich nicht nur auf Starkregenereignisse. Auch für weitere Variablen wie Temperatur, Trockenheit oder Schneefalltage ist es eine gute Strategie, als ersten Schritt die zukünftigen Änderungen mit Variabilitäten und Unsicherheiten aus vergangenen Messreihen zu vergleichen. Ebenso können Analysen aus Messdaten helfen, die Resilienz einer Anwendung zu untersuchen. Dies gilt auch in Fällen, für die von den Klimaszenarien noch keine quantitativen Daten zur Änderung vorliegen (z.B. Wind oder subtäglicher Niederschlag).

Ausblick

Für Planungen in der Zukunft wäre es aus Anwendersicht wünschenswert, einen zeitlich und räumlich hoch aufgelösten Datensatz mehrerer Variablen in absoluter Form zur Ver-

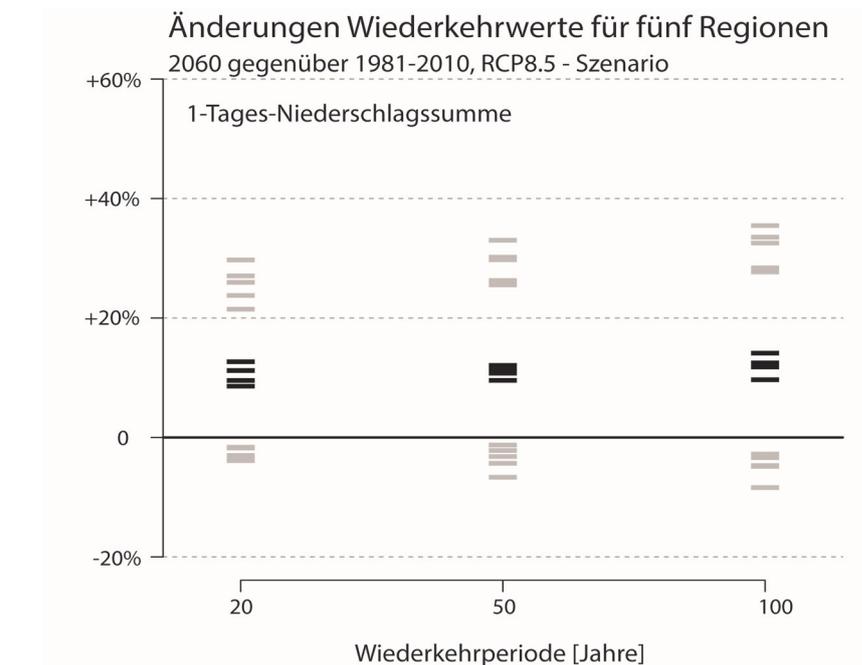


Abbildung 4: Änderungen der Wiederkehrwerte des 1-Tages-Niederschlags für die fünf CH2018-Regionen und für drei Wiederkehrperioden. Gezeigt sind jeweils in grau die minimalen und maximalen Änderungswerte, in schwarz die mittleren Änderungswerte gemäss Unsicherheitsbereich aus CH2018 für die Zeitperiode 2060 gegenüber 1981-2010.

fügung zu haben, der Raum bietet, um Extremwertstatistiken direkt für beliebige Zeiträume in der Zukunft an einem spezifischen Standort anzuwenden. Mit den lokalen täglichen Szenarien von CH2018 wurde diesbezüglich ein erster Schritt gemacht. Für die Analyse von Extremen ist dieser Datensatz jedoch nur bedingt geeignet, da das statistische Verfahren zur Lokalisierung der Klimamodellinformation gerade für Änderungen in Extremen mit erheblichen Limitierungen verknüpft ist. Zurzeit existiert kein statistisches Verfahren zur Lokalisierung von Klimasimulationen, das sämtliche Herausforderungen in den verschiedenen Dimensionen (Zeit, Raum, mehrere Variablen und korrekte Statistik) abdecken würde. In absehbarer Zukunft sind aber gerade durch den Einsatz hoch-aufgelöster Klimasimulationen auf Kilometer-Skala Verbesserungen in dieser Richtung zu erwarten. Solche Simulationen haben momentan noch einen experimentellen Status, dürften aber für die nächste Generation von Klimaszenarien bereits wichtige Erkenntnisse auch in Bezug auf

Extreme liefern. Zentral für die Verbesserung der Klimaszenarien-Produkte ist zudem der kontinuierliche Dialog zwischen Anwendern und Produzenten von Klimaszenarien. Dessen Förderung ist die vordringliche Aufgabe des NCCS.

Quellen

Ban N, Schmidli J, Schär C: 2015, Heavy precipitation in a changing climate: Does short-term summer precipitation increase faster?, *Geophysical Research Letters*, vol. 42, pp. 1165-1172.

CH2018 (2018), CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services, Zurich, 271 pp. ISBN: 978-3-9525031-4-0.

Frei C, Fukutome S: 2019, Extreme Punktniederschläge, in *Wasser in der Atmosphäre*, Erläuterungstext Hydrologischer Atlas der Schweiz, Bern.

Fukutome S, Schindler A, Capobianco A :
2018, MeteoSwiss extreme value analyses:
User manual and documentation, Technical
Report MeteoSwiss, 255, 3rd Edition, 80 pp.

NCCS (Hrsg.) 2018: CH2018 - Klimaszenarien
für die Schweiz. National Centre for Climate
Services, Zürich. 24 S. ISBN-Nummer 978-3-
9525031-0-2.

Web-Informationen

Extremwertanalysen MeteoSchweiz:
www.klima-extreme.ch



Allgemeine Informationen zu den Klimaszena-
rien CH2018: www.klimaszenarien.ch



Quantitative Angaben und Downloads zu Än-
derungen in Extremen gemäss Klimaszena-
rien CH2018: <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/materialien-und-daten/daten/ch2018-webatlas.html>



SBB im Spannungsfeld des Klimawandels: Herausforderungen und Massnahmen in der Naturgefahrenprävention

Florian Hofstetter ¹(florian.hofstetter@sbb.ch)
Katja Lunau ¹(katja.lunau@sbb.ch)

¹Abteilung Naturgefahren, Schweizerische Bundesbahn SBB

Ausgangslage und Herausforderungen

Laut Klimaexperten werden mit dem Klimawandel lang andauernde gleichartige Wetterlagen und Wetterextreme zunehmen. Das hat Folgen für die SBB. Hitzeperioden führen vermehrt zu Gleisverwerfungen und Instabilitäten der Fahrbahn. Lang andauernde Nassperioden mit intensivem Niederschlag führen zu Hang- und Böschungsinstabilitäten, Murgängen und Überschwemmungen mit grossen Schäden bei der SBB Infrastruktur. Die Auswirkungen des Klimawandels sind aber auch im Vegetations- und Grünbereich der SBB klar erkennbar. Die zunehmend warmen und regenreichen Winter auf der Alpennordseite haben in den letzten zehn Jahren zu einer deutlichen Verlängerung der Wachstumsperiode und zu Veränderungen in den Pflanzengemeinschaften geführt. Im Schutzwald haben natürliche Störungen bereits zugenommen, die zukünftig weiter ansteigen werden: Steigende Holzvorräte in Kombination mit Winterstürmen und ungefrorener Boden führen vermehrt zu Windwurf; höhere Temperaturen und Trockenheit sorgen für die Ausbreitung von Krankheiten und Schädlingen; anhaltende Hitze, Trockenstress, höhere brennbare Biomasse sowie eine veränderte Schneedecke erhöhen die Waldbrandgefahr.

Informationskasten / Boîte d'information

Die SBB ist das Rückgrat für den Personen- und Güterverkehr der Schweiz und stellt die Infrastruktur für den europäischen Transitverkehr. Für das Funktionieren der Schweiz ist sie eine kritische Infrastruktur. Daher ist ein leistungsfähiges Bahnnetz unabdingbar. Jeden Tag befördert die SBB 1,25 Millionen Reisende und 205 000 Tonnen Güter auf gesamthaft 3000 Streckenkilometern. Rund 1100 Streckenkilometer davon sind Naturgefahrenprozessen ausgesetzt, davon sind einige Abschnitte von mehreren Prozessen betroffen. Insgesamt verfügt die SBB über rund 5000 Schutzbauten und 8700 Hektar Schutzwald. Um Sicherheit, Verfügbarkeit und Pünktlichkeit zu garantieren, betreibt die SBB eine aktive, risikoorientierte Naturgefahrenprävention. Hinzu kommen organisatorische Massnahmen wie der Lawinendienst, der kontinuierliche Ausbau der digitalen Überwachung von Gefahrenprozessen mit Naturgefahrenalarmsystemen, Felsmonitoring mit Georadar und anderen Technologien. Dafür investiert sie jährlich rund 15 Millionen Schweizer Franken. Ausserdem erfolgt eine jährliche Aktualisierung der Gefahren- und Risikokarte für das gesamte SBB Streckennetz im Bereich Naturgefahren. Auch die 5'000 ha Waldflächen und 2'500 ha gehölzfreie Grünflächen werden so unterhalten, dass die Sicherheit und Verfügbarkeit des Bahnbetriebs jederzeit gewährleistet werden kann.

Les CFF constituent le pilier du trafic voyageurs et marchandises en Suisse et fournissent l'infrastructure nécessaire au trafic de transit européen. Il s'agit d'une infrastructure essentielle pour le fonctionnement de la Suisse. Un réseau ferroviaire efficace est donc indispensable. Chaque jour, les CFF transportent 1,25 million de passagers et 205'000 tonnes de fret sur un total de 3'000 kilomètres de voies. Environ 1'100 kilomètres de cette ligne sont exposés à des processus de dangers naturels, certains tronçons étant affectés par plusieurs processus. Les CFF disposent au total d'environ 5'000 ouvrages de protection et de 8'700 hectares de forêt protectrice. Pour garantir sécurité, disponibilité et ponctualité, les CFF mettent en œuvre une prévention des dangers naturels actif et basée sur les risques. Des mesures organisationnelles telles que le service de prévention d'avalanches l'extension continue de la surveillance numérique des processus dangereux avec des systèmes d'alarme contre les dangers naturels, la surveillance des instabilités rocheuses par géoradar et d'autres technologies complètent ce dispositif. Ils investissent environ 15 millions de francs suisses par an dans ces mesures. En outre, la carte des dangers et des risques pour l'ensemble du réseau CFF est mise à jour chaque année dans le domaine des dangers naturels. Les 5'000 hectares de forêts et les 2'500 hectares d'espaces verts non boisés sont également entretenus de manière à garantir à tout moment la sécurité et la disponibilité des opérations ferroviaires.

SBB Klimabericht: Erarbeitung und Ergebnisse

Voraussetzung für einen sicheren, zuverlässigen Betrieb im Dienst am Kunden und im Sinne eines guten Service public ist eine zweckmässige, gut vorbereitete und einwandfrei unterhaltene Infrastruktur. Zu dieser zählen die Anlagengattungen Fahrbahn, Kunstbauten, Sicherungsanlagen, Bahnstromanlagen, Niederspannungs- und Telekommunikationsanlagen sowie Publikumsanlagen. Darauf aufbauend müssen Personen- und Güterverkehr den sicheren, pünktlichen und komfortablen Transport auch unter veränderten klimatischen Bedingungen gewährleisten.

Vor diesem Hintergrund hat die Fachstelle «Natur und Naturrisiken» (NNR) der SBB gemeinsam mit externen Wissenschaftlern und Klimaexperten Mitarbeitende verschiedener Fachbereiche und Divisionen der SBB zum Thema Klimawandel interviewt. Basierend auf den Befragungsergebnissen wurden mögliche Folgen des Klimawandels auf die SBB aufgezeigt und nachträglich mögliche Massnahmen abgeleitet. Die Resultate und Erkenntnisse wurden 2018 in dem internen Bericht «SBB im Einfluss des Klimawandels: Mögliche Herausforderungen und Massnahmen» zusammengefasst.

Ausgewählte Herausforderungen durch die Einflüsse des Klimawandels wie Hitze, Frost, Niederschlag, Stürme sind in der Tabelle rechts vereinfacht zusammengefasst:

Bereich	Herausforderung für die SBB (Auswahl)
Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> - Stärkere Dilatation bei Infrastrukturbauten, Fahrbahn und Fahrleitung - Vermehrte Beschädigung und Zerstörung von Infrastrukturanlagen, Fahrbahn und Stromleitungen durch Hochwasser und Muren sowie durch Windeinwirkung - Erschwerte Wasserversorgung für Baustellen, Gleiswässerung, Einsatzfahrzeuge, Bahnhöfe - Bäume, die in die Fahrleitung fallen, bewirken einen Kurzschluss und manchmal grössere Schäden an der Anlage
Personenverkehr	<ul style="list-style-type: none"> - Beeinträchtigung Reisekomfort und Kundenzufriedenheit durch Verspätungen, Zugausfälle, Probleme mit der Klimatisierung
Immobilien	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhter Energiebedarf für die Klimatisierung in Bahnhöfen und anderen Gebäuden
Cargo	<ul style="list-style-type: none"> - Zunahme der Gefahr durch anfällige Verladegüter (u.a. Gasexpansion) - Verspätungen und Zugausfälle durch beschädigte Infrastruktur
Energie	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhter Energiebedarf für Klimatisierung und Kühlung von Anlagen und Rollmaterial (Passagiere, Elektronik, Kühlwagen) - Mögliche Einschränkungen bei Hydro-Energieproduktion
Gesundheit	<ul style="list-style-type: none"> - Erschwerte Arbeitssicherheit (u.a. Gleisfeld mit Schutzbekleidung) und reduzierte Leistungsfähigkeit bei grosser Hitze - Vermehrte Personalausfälle durch schnellere Entwicklung und Übertragung von Infektionskeimen und aufgrund von Allergien (Pollen)
Vegetation	<ul style="list-style-type: none"> - Gefährdung des Schutzwaldes durch Waldbrand, Windwurf, Krankheiten, Schädlinge, Baummortalität - Stärkeres Einwachsen der Vegetation ins Sicherheitsprofil der Fahrbahn - erhöhter Aufwand für Böschungspflege durch verlängerte Wachstumsperiode und Neophyten

Anpassungsstrategien entwickeln, Handlungsfelder definieren

Der Bericht gibt erstmals einen Überblick zu möglichen Klimaeinflüssen auf die SBB. Er hat auch innerhalb der SBB eine Basis für ein gemeinsames Verständnis, eine einheitliche Sprache gelegt. Er dient als Grundlage für alle weiteren Analysen und Evaluationen von Massnahmen innerhalb der SBB. Die betroffenen Divisionen und Bereiche müssen sich jetzt mit dem Thema Klimawandel auseinandersetzen und ihre Risiken und Chancen abwägen sowie entsprechende Anpassungsstrategien entwickeln. Der Bereich Naturgefahren hat folgende Handlungsfelder definiert:

- Monitoring, das heisst gute Datengrundlagen schaffen, Sensibilität für Veränderungen erhöhen
- Klimatrends möglichst früh erkennen, die Folgen früh antizipieren
- Forschung, Know-how entwickeln: Prospektive Szenarien entwickeln und Schutzmassnahmen ableiten
- Erhöhten Ressourcenbedarf und Finanzierung eruieren und sicherstellen

- Life Cycle Management von Schutzbauten an die neuen Herausforderungen anpassen.

Blick in unsere Zukunft: Prospective NNR Natur und Naturrisiken

Die SBB plant mit einem Horizont von bis zu 50 Jahren. Da stellen sich natürlich im Zusammenhang mit der Klimaentwicklung neue Fragen: Brauchen wir den Lawinendienst und unsere Lawinerverbauungen 2040 überhaupt noch? Reichen unsere Fahrbahnentwässerungen in der Zukunft noch aus? Wo und wie stark nimmt die Gefährdung durch Naturgefahrenprozesse zu? Welche Prozesse werden von den Veränderungen am meisten betroffen sein? Um diese Fragen beantworten zu können, sind gute Grundlagen und daraus abgeleitete zuverlässigere Zukunftsmodelle notwendig.

Im Rahmen der Vision "Prospective NNR" erarbeitet die SBB zusammen mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft mögliche Zukunftsszenarien in verschiedenen Forschungsprojekten. So zum Beispiel im WSL Forschungsprogramm CCAMM, Task 3.1

"Multi-hazard risk assessment framework" (s.a. Beitrag WSL/SLF in diesem FAN-Forum, S. 15), in Zusammenarbeit mit Fachbüros.

Dabei soll der Einfluss des Klimawandels auf die Naturgefahrenprozesse untersucht werden und sind daraus neue Gefährdungsszenarien oder Ereignisverkettungen abzuleiten. Diese werden in einem nächsten Schritt in das Risikotool von NNR integriert und erlauben es, die Risikoveränderungen der Zukunft für das gesamte Streckennetz zu modellieren. Diese wichtigen Daten dienen NNR später als Grundlage für die Weiterentwicklung der Anpassungsstrategie und der Naturgefahrenprävention der SBB.

Mitigation: SBB will spätestens 2030 klimaneutral sein.

Die SBB setzt sich nicht nur aktiv mit einer Adaptionsstrategie auseinander, um die Folgen des Klimawandels zu antizipieren, sie setzt auch konsequent auf Mitigation. Grundsätzlich ist der Zug zusammen mit dem Langsamverkehr das klimafreundlichste Transportmittel.



Abbildung 1: Starkniederschläge und Vegetationsveränderungen können vermehrt Böschungen destabilisieren (SBB).

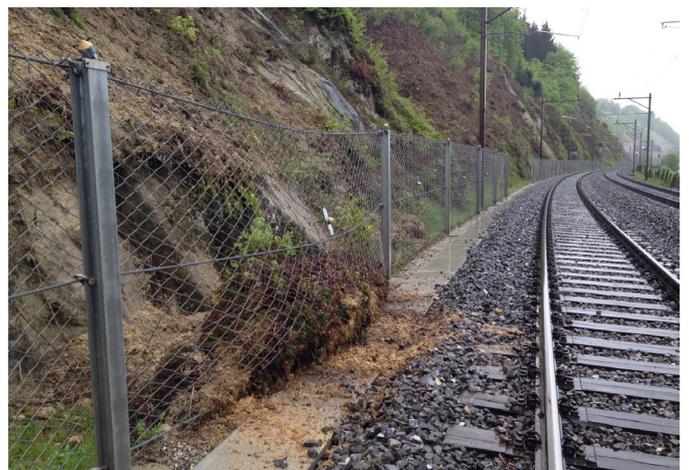


Abbildung 2: Schutzbauten, Alarmanlagen und Überwachung müssen neu gebaut oder abgepasst werden (SBB).

Mit durchschnittlich 90 Prozent Wasserkraft im Bahnstrommix und einem durchgehend elektrifizierten Netz ist die SBB europaweit eine der umweltfreundlichsten Bahnen. Bis 2025 soll der Bahnstrom ganz aus erneuerbaren Quellen stammen. Nachhaltigkeit entlang der ganzen Wertschöpfungskette – von der Beschaffung über die Produktion und Nutzung bis hin zur Entsorgung – ist ein Element der SBB Strategie. Mit zahlreichen verschiedenen Massnahmen und (Forschungs-)Projekten in den Bereichen Klimaschutz, Energieeffizienz, nachhaltiges Bauen und Kreislaufwirtschaft trägt die SBB zur Umsetzung der Energiestrategie 2025 des Bundes bei. Beispielsweise dadurch, dass sie bis 2030 in allen Bahnhöfen und übrigen Gebäuden die Öl- oder Gasheizungen durch fossilfreie Alternativen ersetzt, bei Neubauten auf Rezyklierbarkeit der eingesetzten Materialien achtet und den Treibstoffverbrauch von Rangierfahrzeugen reduziert, indem sie auf modernste Technik wie Hybridfahrzeuge und neue Steuerungskonzepte setzt. Gemeinsam mit Forschungsinstitutionen, Hochschulen und Industriepartnern arbeitet die SBB an verschiedenen Projekten zur Kreislaufwirtschaft (kreislauffähige Batterien für Züge, Verwendung von Recycling-Beton beim Neubau von Perrons u.a.). Auf dem über 3000 Kilometer langen «grünen Korridor» entlang der Schienen wird aktiv Artenschutz und Biodiversität gefördert.

Die EBB – der Umwelt verpflichtet: www.sbb.ch/de/ueber-die-sbb/verantwortung/umweltvorteil-bahn.html

Jaag, Chr., Schnyder, N. (2019), Bedeutung des Klimawandels für die Infrastrukturen in der Schweiz, Version V2, Swiss Economics SE AG.

Kienholz, H. et al. (2018), SBB im Einfluss des Klimawandels: Mögliche Herausforderungen und Massnahmen, SBB Infrastruktur. (internes Dokument)

ProClim, BAFU, ETHZ, MeteoSchweiz, NCCS, Universität Bern, Universität Zürich und WSL Bern (2019), CH-Impacts (2019): Klimaszenarien CH2018 und die daraus abgeleiteten Folgen für die Schweiz – wie weiter? Grundlagenbericht des Vorprojekts.

SBB Infrastruktur (Hrsg.), Netzzustandsbericht 2019, Anlagetypgruppenbericht Natur und Naturrisiken. (internes Dokument)

SBB Nachhaltigkeitsstrategie
www.sbb.ch/nachhaltigkeit

Literatur

Bebi, P., Bugmann, H., Lüscher, P., Lange, B. & Brang P. (2016): Auswirkungen des Klimawandels auf Schutzwald und Naturgefahren. In: Pluess, A.R., Augustin, S. & Brang, P. (Hrsg.): Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. Haupt, Bern, Stuttgart, Wien: 269-286.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf alpine Massenbewegungen: Das WSL Forschungsprogramm CCAMM

Alexander Bast¹ (alexander.bast@slf.ch)
 Marcia Phillips¹ (phillips@slf.ch)
 Michael Bründl¹ (bruendl@slf.ch)
 Manfred Stähli² (manfred.staehli@wsl.ch)²
 Perry Bartelt¹ (bartelt@slf.ch)
 Gregor Ortner¹ (gregor.ortner@slf.ch)
 Jürg Schweizer¹ (schweizer@slf.ch)

¹ WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos

² Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf

Résumé

Selon diverses estimations, le changement climatique modifiera non seulement la disposition des mouvements de masse alpins, mais aussi leur dynamique et l'interaction des processus gravitationnels ou leur enchaînement en cascade. Cela entraînera un changement de risque pour la population suisse par rapport aux mouvements de masse alpins.

Le programme de recherche du WSL CCAMM - Climate Change Impacts on Alpine Mass Movements - étudie les effets du changement climatique sur les mouvements de masse alpins afin de mieux évaluer les risques résultants et de développer des stratégies d'adaptation appropriées pour la société. Nous présentons ci-après le programme de recherche du WSL CCAMM.

Zusammenfassung

Gemäss verschiedenen Abschätzungen wird sich durch die Klimaveränderung nicht nur die Disposition für alpine Massenbewegungen, sondern auch deren Dynamik und die Interaktion von gravitativen Prozessen bzw. deren Verkettung in Prozesskaskaden verändern. Dies wird zu einem veränderten Risiko für die Schweizer Bevölkerung in Bezug auf alpine Massenbewegungen führen.

Das WSL Forschungsprogramm CCAMM – Climate Change Impacts on Alpine Mass Movements untersucht die Auswirkungen des Klimawandels auf alpine Massenbewegungen,

um die daraus resultierenden Risiken besser abzuschätzen und geeignete Anpassungsstrategien für die Gesellschaft zu entwickeln. Im Folgenden stellen wir das WSL-Forschungsprogramm CCAMM vor.

Was uns motiviert

Die bodennahe Lufttemperatur hat seit Beginn der Wetteraufzeichnungen signifikant zugenommen. Der Temperaturanstieg in der Schweiz liegt zudem deutlich über dem globalen Mittel und die neuesten Schweizer Klimaszenarien, CH2018, zeigen auf, dass selbst bei konsequentem Klimaschutz die Schweizer Jahresmitteltemperatur bis zur Mitte des Jahrhunderts, das heisst um das Jahr 2060 (2045 bis 2074), zwischen 0.7 °C und 1.9 °C gegenüber dem Bezugszeitraum 1981 bis 2010 ansteigen wird (CH2018, 2018).

Die Klimaveränderung, wird das äussere Erscheinungsbild der Alpen verändern. Zum Beispiel beschleunigen steigende Temperaturen nicht nur die Gletscherschmelze und die Permafrostdegradation, sondern beeinflussen auch die Eigenschaften der Schneedecke und das Fliessverhalten von Lawinen oder verändert unsere Ökosysteme. Dadurch wird sich die Disposition von Felsstürzen, Murgängen, Hangrutschungen und Lawinen ändern und Windwurf oder Waldbrände beeinflussen die Funktion der Schutzwälder. Die Auswirkungen einer klimatischen Veränderung auf alpine

Massenbewegungen insbesondere auf deren Disposition, deren Dynamik und die resultierenden Verkettungen von Prozessen sind bis heute nur wenig bis gar nicht verstanden.

Im WSL-Forschungsprogramm *Climate Change Impacts on Alpine Mass Movements* (CCAMM) werden die oben genannten Zusammenhänge untersucht sowie die Veränderung der Risiken modelliert, um optimale und angepasste Anpassungsstrategien zu entwickeln.

Arbeitspakete, Projekte und Untersuchungsgebiete

Ein internationales Team von Wissenschaftlern aus verschiedenen Forschungsgruppen der WSL und des SLF, der ETH Zürich, der EPF Lausanne und der TU München untersucht in den drei Arbeitspaketen, «Gefahren disposition» (WP1), «Dynamik von Massenbewegungen» (WP2) sowie «Risiko und Anpassung» (WP3) die Auswirkungen des Klimawandels auf alpine Massenbewegungen. Im Moment umfassen die drei Arbeitspakete insgesamt 13 Forschungsprojekte (Tasks), an welchen gegenwärtig 14 Doktorierende, zwei Post-Doktorierende und 21 Forschende arbeiten (Abb. 1).

Das Arbeitspaket WP1 «Gefahren disposition» untersucht, wie sich das Gefahrenpotential von alpinen Massenbewegungen, wie Lawinen, Steinschlag und Murgängen verändern wird. Damit Massenbewegungen entstehen, muss

entsprechend exponiertes Material vorhanden sein. Daher werden in WP1 die Voraussetzungen für Veränderungen und die Verfügbarkeit von Schnee, Eis, Fels, Sedimenten oder deren Mischformen untersucht. Prominentes Beispiel ist ein Temperaturanstieg im Permafrost: Verändern sich dadurch auch Häufigkeit und Ausmass oder die räumliche Verteilung von Steinschlägen, oder Murgängen? Verändert sich der Aufbau der Schneedecke oder die Sedimentverfügbarkeit und wie können diese Veränderungen in Modelle wie SNOWPACK oder SedCas integriert und modelliert werden? Wie verändern sich die Auslöseprozesse von Massenbewegungen, zum Beispiel durch eine modifizierte Niederschlagsintensität oder -häufigkeit und wie lassen sich veränderte Auslöse- bzw. Dispositionsszenarien in die Si-

mulationssoftware RAMMS (Rapid Mass Movement Simulation), integrieren?

Grundlage für diese Untersuchungen sind Klimaprognosen welche auf Basis der CH2018 Klimaszenarien und Daten der Klimastationen der MeteoSchweiz und des IMIS-Messnetzes (Interkontinentales Mess- und Informationssystem) in täglicher und stündlicher Auflösung erzeugt wurden.

Die in WP1 entwickelten Szenarien fliessen in das Arbeitspaket «Dynamik von Massenbewegungen» (WP2) ein. In diesem Arbeitspaket wird die durch den Klimawandel vermutete veränderte Prozessdynamik von Murgängen, Lawinen und Steinschlag untersucht. Die Kernfrage lautet: Wie beeinflussen steigende Temperaturen und sich verändernde

Niederschlagsbedingungen die Dynamik von Murgängen, Felsstürzen, Eis- und Schneelawinen sowie Steinschlag? Mit einer speziell entwickelten Version der Software RAMMS werden auch Prozessketten (Prozesskaskaden) untersucht, bei denen durch die Aufnahme von Wasser, Schnee oder Eis Übergänge unterschiedlicher Prozesse stattfinden. So sollen zum Beispiel Übergänge von trockenen Lawinen zu Nassschneelawinen oder von Steinschlag zu Murgängen besser verstanden werden.

Darüber hinaus wird in WP2 die Schutzwaldwirkung und deren Veränderung durch natürliche Störungen, Walddynamik und Waldstrukturen untersucht. Interaktionen zwischen Wald und Lawinen, Steinschlag oder flachgründigen Rutschungen werden erforscht und die Er-

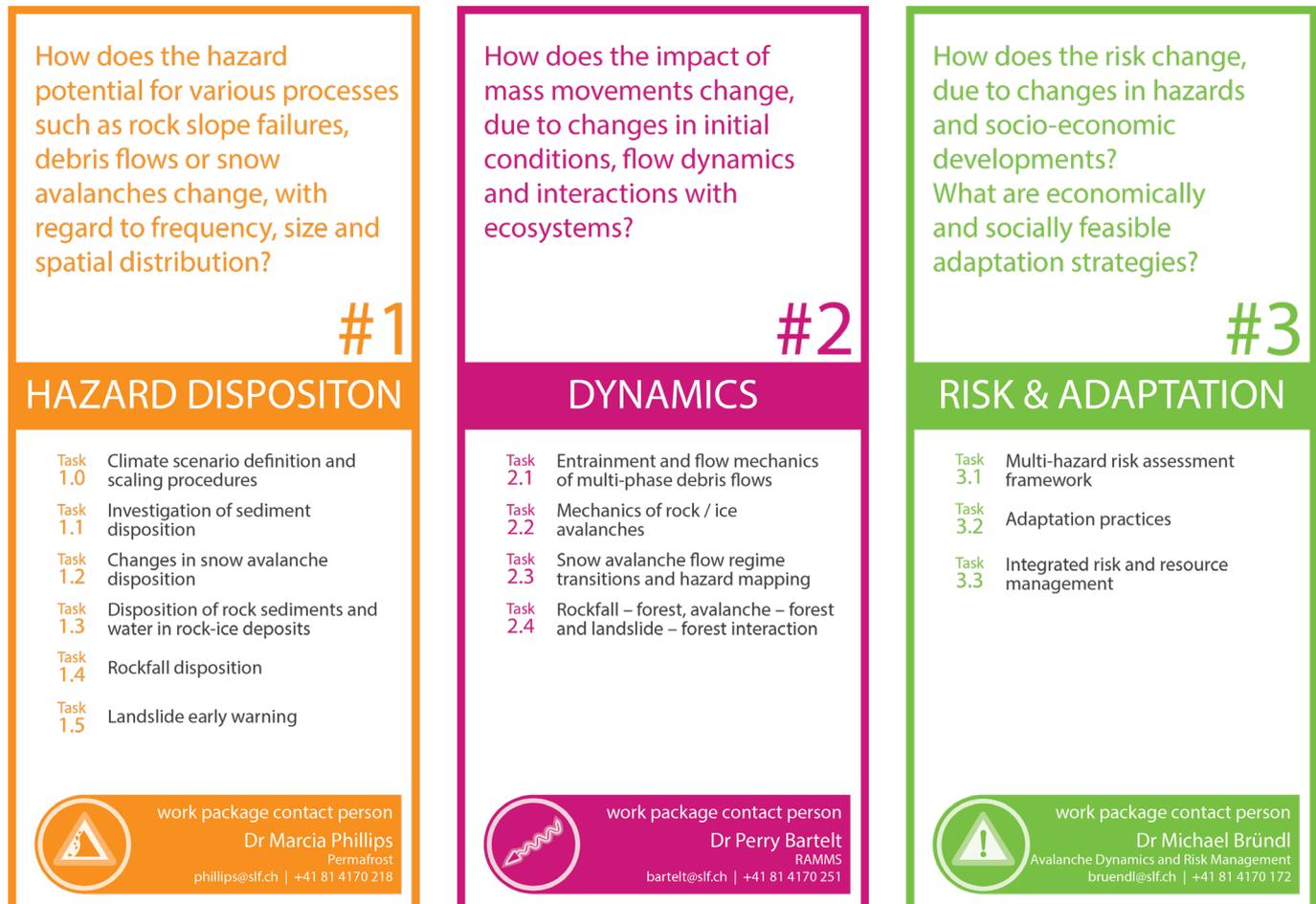


Abbildung 1: CCAMM umfasst drei Arbeitspakete - «Gefahrendisposition», «Dynamik von Massenbewegungen» und «Risiko und Anpassung». Die Arbeitspakete werden in insgesamt 13 Einzelprojekte (Tasks) unterteilt.

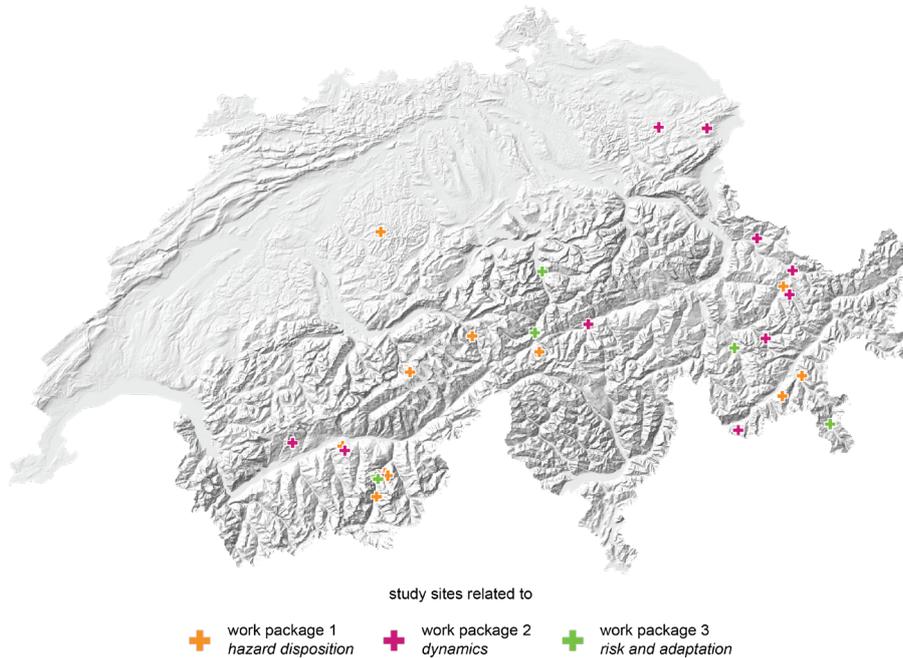


Abbildung 2: Die 31 CCAMM Forschungsstandorte in der Schweiz (farblich untergliedert in die drei Arbeitspakete).

kenntnisse werden verwendet, um Modelle wie RAMMS anzupassen und/oder interaktive Gefahrenhinweiskarten zu erzeugen.

Die Resultate aus WP1 und WP2 werden im dritten Arbeitspaket «Risiko und Anpassung» (WP3) verwendet, um die klimatisch und sozioökonomisch bedingten Änderungen des Risikos zu modellieren. Im Projekt «Multi-hazard risk assessment framework» (Task 3.1) erarbeiten wir in Zusammenarbeit mit den Schweizerischen Bundesbahnen SBB Zukunftsszenarien um Risikoveränderungen für das gesamte Streckennetz zu modellieren (Projekt «Prospective NNR», s.a. Beitrag der SBB in diesem FAN-Forum, S.11). Damit stellen wir uns auch die Frage, wie sich verschiedene Akteure, zum Beispiel Gemeinden oder eben die Schweizerischen Bundesbahnen SBB, an den Klimawandel anpassen können und welche Massnahmen bisher ergriffen oder auch nicht ergriffen wurden. Schliesslich gehen wir im WP3 der Frage nach, wie der Umgang mit verändernden Gefahren im Hinblick auf ein integriertes Risiko- und Ressour-

cenmanagement in Zukunft gestaltet werden kann und welche gesellschaftlichen, institutionellen und politischen Barrieren dafür im Weg stehen.

Die Untersuchungen innerhalb von CCAMM werden derzeit an 31 unterschiedlichen Forschungsstandorten in der Schweiz (Abb. 2) sowie an einem Standort in Deutschland (Zugspitze) durchgeführt. Das Mattertal (VS) ist stark von Massenbewegungen und Prozesskaskaden betroffen und ist neben Davos (GR) einer von zwei CCAMM-Hauptforschungsstandorten. Prozessspezifische und angewandte Forschung findet an Standorten statt, an denen die WSL bereits über mehrjährige Datenreihen und entsprechende Messeinrichtungen verfügt. Dazu gehören unter anderem das Testgelände für Murgänge im Illgraben (VS), das Vallée de la Sionne (VS) und die Landschaft Davos (GR) für Lawinen oder das Oberengadin (GR) und der Gemsstock (UR) zur Untersuchung eisreicher Sedimente und Felswände (Permafrost).

2024: Wir geben Antworten

CCAMM wurde 2018 gestartet und läuft in der ersten Phase bis 2021. Der Inhalt der zweiten Phase (2021-2024) ist gegenwärtig in Planung. Die Ergebnisse des Programms werden in einer Synthese zusammengefasst, um der Schweizer Bevölkerung, den Behörden auf Gemeinde-, Kantons- oder Bundesebene, Infrastrukturbetreibern, Ingenieur- und Planungsbüros sowie Forschenden Antworten auf die folgenden vier Hauptforschungsfragen geben zu können:

- (i) Wie verändert sich das Gefahrenpotential alpiner Massenbewegungen in Bezug auf deren Frequenz, Magnitude und räumliche Verteilung?
- (ii) Wie verändert sich die Fließdynamik von Massenbewegungen durch veränderte Ausgangszustände bzw. -bedingungen und welche Rolle spielt dabei ein sich dynamisch veränderndes Ökosystem (Schutzwälder)?
- (iii) Wie verändert sich das Risiko im Hinblick auf ein modifiziertes Gefahrenpotential und die sozio-ökonomische Entwicklung?
- (iv) Welche Anpassungsstrategien sind ökologisch sinnvoll, wirtschaftlich tragfähig und von der Gesellschaft akzeptiert?

Weitere Informationen finden sich auf der Projektwebseite ccamm.slf.ch. Das Forschungsprogramm CCAMM greift eine gesellschaftlich relevante Fragestellung auf und leistet einen wichtigen Beitrag für die Anpassung der Gesellschaft an die Auswirkungen des Klimawandels.

Literatur

CH2018 (2018): CH2018 - Climate Scenarios for Switzerland. Technical Report. National Centre for Climate Services, Zurich: 271 S.

Zukünftige Gefahren und Risiken aus gefrorenen Felswänden im Wallis

Evelyn Zenklusen Mutter¹ (e.zenklusen@geoformer.ch)
 Corinne Singeisen¹ (c.singeisen@geoformer.ch)
 Robert Kenner² (robert.kenner@slf.ch)
 Marcia Phillips² (phillips@slf.ch)
 Ulrich Burchard¹ (u.burchard@geoformer.ch)
 Damian Steffen¹ (d.steffen@geoformer.ch)
 Pascal Stoebener³ (pascal.stoebener@admin.vs.ch)
 Raphaël Mayoraz³ (raphael.mayoraz@admin.vs.ch)

¹ geoformer igp AG, Brig-Glis

² WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos

³ Dienststelle für Wald, Flussbau und Landschaft, Kanton Wallis

Introduction

Le projet "Dangers et risques futurs liés aux parois rocheuses gelées en Valais" fait partie du programme pilote "Programme d'adaptation au changement climatique - Phase II" 2019-2022 de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Le projet est développé sous les auspices du Canton du Valais et en collaboration avec le WSL/SLF.

L'objectif est d'identifier les parois rocheuses du permafrost en Valais, présentant un risque naturel particulièrement élevé pour les établissements et les infrastructures dans le sillage du changement climatique attendu. La carte du permafrost et de la glace de sol (PGIM) de Kenner et al. (2019), qui peut être adaptée aux scénarios climatiques CH2018, sert de base à cette analyse. Les dangers potentiels sont ainsi évalués géologiquement, en tenant compte d'éventuelles chaînes de processus (chutes de pierres sur les glaciers, sur la neige, dans les barrages ou les lacs glaciaires ou blocage du ruissellement des vallées). Les parois rocheuses sont classées en fonction des dommages potentiels (agglomérations, infrastructures touristiques, lignes de circulation, etc.), ce qui permet de classer les parois rocheuses qui devraient être particulièrement dangereuses à l'avenir.

Einleitung

Das Projekt „Zukünftige Gefahren und Risiken aus gefrorenen Felswänden im Wallis“ ist Teil des Pilotprogramms „Anpassung an den Klimawandel Programmphase II“ 2019-2022 des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). Die Projektausarbeitung erfolgt unter der Trägerschaft des Kanton Wallis und in Zusammenarbeit mit dem WSL/SLF.

Ziel ist, Permafrostfelswände im Wallis zu identifizieren, von denen im Zuge der zu erwartenden Klimaveränderung, ein besonders hohes Naturgefahrenrisiko für Siedlungen und Infrastruktur ausgeht. Als Grundlage für diese Analyse dient die Permafrost- und Bodeneis-karte (PGIM) von Kenner et al. (2019), welche an die Klimaszenarien CH2018 adaptierbar ist. Ausgehend hiervon werden die Gefahrenpotentiale unter Berücksichtigung möglicher Prozessketten geologisch beurteilt (Felssturz auf Gletscher, auf Schnee, in Stau- oder Gletscherseen oder Blockierung von Talabflüssen). Die Felswände werden in Abhängigkeit des Schadenpotentials (Siedlungen, touristische Infrastruktur, Verkehrslinien etc.) risikobasiert kategorisiert, woraus eine Rangliste der zukünftig als besonders gefährlich zu erwartenden Felswänden resultiert.

Bestimmung der potentiell gefährlichen kalten Felswände

Für die Bestimmung der Standorte, welche als potentiell gefährliche kalte Felswände in Frage

kommen, wurden flächendeckend über das Walliser Kantonsgebiet verschiedene Filter angewendet. Die verwendeten Filter sind in den folgenden Kapiteln beschrieben. Dabei ist zu beachten, dass nur diejenigen Flächen in die Analyse einfließen, welche in der Permafrostkarte von Kenner et al. (2019) als eisarmer Permafrost ausgeschieden sind.

Abbildung 1 zeigt das schrittweise Vorgehen zur Bestimmung potentiell gefährlicher kalter Felswände.

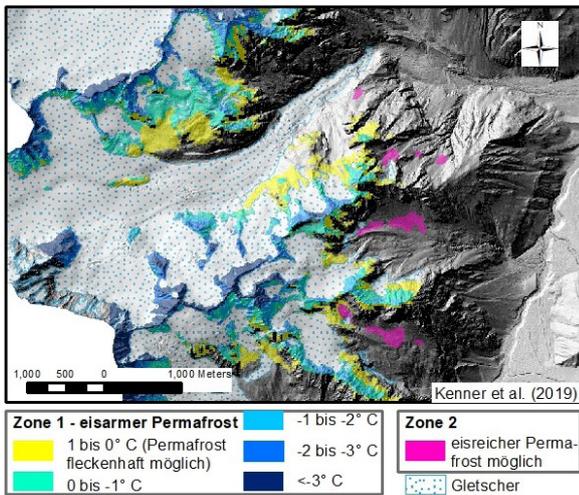
Filter nach Permafrosttemperatur

Kalte Felswände an der unteren Permafrostgrenze reagieren sensitiv auf Klimaveränderungen. Änderungen der Temperatur oder des Eis-/Wassergehalts in Felsklüften wirken sich, in Abhängigkeit der Topographie, stark auf die Stabilität der Felsmassen aus.

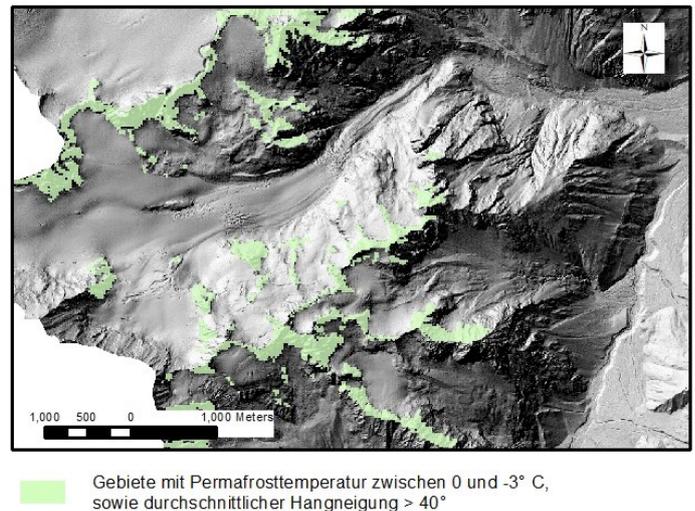
Um zu bestimmen welcher Temperaturbereich in Bezug auf Instabilitäten besonders kritisch ist, wurden die Ereignisdaten des Felssturzkataster des SLF statistisch ausgewertet. Dieser Kataster umfasst Ereignisse für den Zeitraum von 1714 bis 2019. Die Ereignisse aus der Datenbank wurden den Permafrosttemperaturen gemäss Kenner et al. (2019) zugeordnet und nach Häufigkeit pro Temperaturbereich ausgewertet (Abbildung 2).

Für Ereignisse > 100'000 m³ kann eine Häufung im Temperaturbereich zwischen -3° und 0° festgestellt werden (12 von 16 Ereignissen). Dieses Resultat ist in guter Übereinstim-

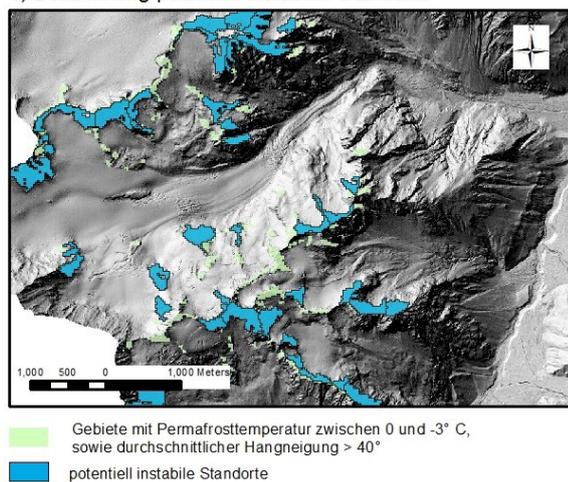
a) Grundlagen: Höhenmodell und Permafrostmodell



b) Filter nach Permafrosttemperatur und Hangneigung



c) Bestimmung potentiell instabiler Standorte



d) Bestimmung potentiell instabiler, kritischer Standorte

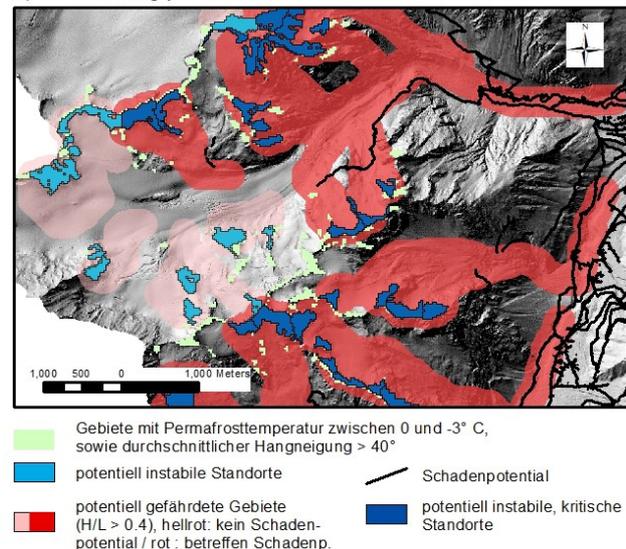


Abbildung 1: Die Methodik zur Bestimmung der potentiell instabilen, kritischen Standorte ist anhand eines Beispielausschnittes in den Karten a) bis d) dargestellt.

mung mit Literaturdaten (Davies et al. 2001, Krautblatter et al. 2013). Ausgehend davon wurde eine «Permafrosttemperatur-Kernzone», d.h. Flächen, welche sich in kritischem Permafrosttemperaturbereich befinden, ausgeschieden. Diese «Kernzone» umfasst Permafrosttemperaturen zwischen -3° und 0°C. Die räumliche Ausdehnung dieser Kernzone kann anhand der Klimaszenarien CH2018 an zukünftige Veränderungen der Permafrosttemperaturen angepasst werden. Die Grundlage dazu legt das Permafrost Temperaturmodell welches für die Herstellung der

PGIM genutzt wurde und welches in Kenner et al. (2019) vorgestellt wird. Dieses Modell enthält die mittlere jährliche Lufttemperatur als Eingangsparameter und kann so unter Berücksichtigung der Verzögerungen bei der Erwärmung des Bodens an wärmere Klimaverhältnisse angepasst werden.

Filter nach Hangneigung

Damit sich Hanginstabilitäten entwickeln können, muss die entsprechende Topographie gegeben sein. In Anlehnung an Fischer et al. (2012) wurde als erster Filter eine Hangnei-

gung von >40° gewählt. Um den Filter nicht durch lokale Abflachungen zu verfälschen, wurde die durchschnittliche Hangneigung über eine Fläche von 2'500 m² berechnet. Für diese Auswertung wurde das Höhenmodell mit 25 m Rasterzellengrösse verwendet

Bestimmung potentiell instabiler Standorte

Die aufgrund der Filter «Permafrosttemperatur» und «Hangneigung» ermittelten, möglicherweise instabilen Flächen werden in diesem Arbeitsschritt in einzelne Standorte un-

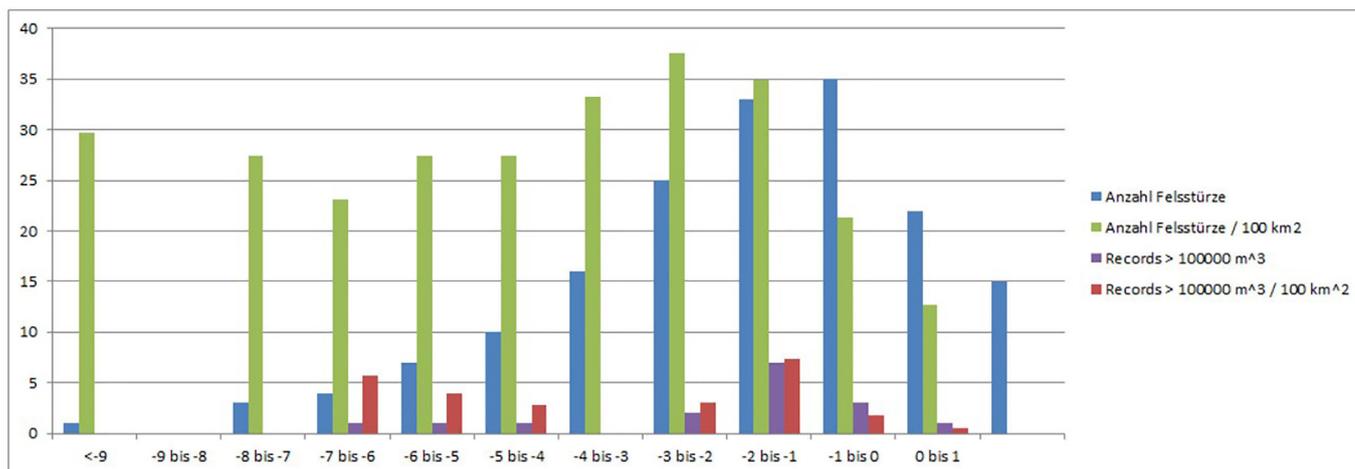


Abbildung 2: Die Anzahl Felsstürze in der SLF-Datenbank wurden pro Permafrosttemperaturbereich gem. Kenner et al. (2019) nach ihrer Häufigkeit ausgewertet.

terteilt. Dies wurde anhand einer GIS-Analyse durchgeführt. Mittels der Hydrologie-Toolbox wurden die Flächen in einzelne Standorte unterteilt. Aufgrund der variierenden Topographie ist die automatische Unterteilung in Standorte je nach Gelände unterschiedlich feingliedrig. Die Aufteilung der Standorte wurde so gewählt, dass die Standorte für die Beurteilung möglicher Instabilitäten als homogene Bereiche betrachtet werden können.

Aufgrund des Filters nach Permafrosttemperatur (d.h. Kernzone) und Topographie ergaben sich ein total von 10'712 potentiell instabilen Standorten. Da im Rahmen dieses Projektes nur grosse Felssturz- sowie Bergsturzpotentiale betrachtet werden, wurde auf diese Standorte ein Grössenfilter angewendet. Standorte, welche eine Aufsichtsfläche kleiner 20'000 m² und eine Höhe kleiner 150 m aufweisen, werden nicht weiter beurteilt.

Bestimmung potentiell gefährdeter Gebiete

Die möglichen Reichweiten von Ereignissen in den definierten potentiell instabilen Standorten können anhand des Verhältnisses zwischen Höhe und Länge (resp. der Differenz zwischen Ausbruchs- und Ablagerungspunkt in vertikaler und horizontaler Richtung) abgeschätzt werden. Üblicherweise wird der Fahrböschungswinkel verwendet, um die Reichweite von Fels- und Bergstürzen zu beschreiben (Heim, 1932; Scheidegger, 1973; Corominas, 1996, Sosio et al., 2008; Whittall et al., 2016). Das hier verwendete Höhen-Längen-Verhältnis weicht insofern vom Wert des Fahrböschungswinkels ab, als dass die Länge (L) entlang der Fließlinie anstatt entlang einer Gerade berechnet wird. Dadurch ist das H/L-Verhältnis etwas kleiner als der Fahr-

böschungswinkel. Die Berechnung entlang der Fließlinie erlaubt jedoch, das H/L-Verhältnis direkt für eine erste Ausscheidung der potentiell gefährdeten Gebiete zu verwenden. Die Bestimmung potentiell gefährdeter Gebiete wird für die kritischen Standorte in einem späteren Arbeitsschritt anhand von numerischen Modellen weiter ausgearbeitet.

Der Vergleich mit dem nachgerechneten Höhen-Längen-Verhältnis (H/L) verschiedener dokumentierter Ereignisse zeigt, dass das H/L-Verhältnis maximale Werte um 0.4 bei Ereignissen auf Eis oder Schnee erreicht (siehe Tabelle 1). Felsstürze auf aperaturen Boden blieben gewöhnlich deutlich über diesem Wert. Die erhöhten Reichweiten von Felsstürzen auf Schnee wurden auch in der Literatur beschrieben (Deline et al., 2014). In dieser Studie wurde für die Bestimmung der potentiell gefährdeten Gebiete ein H/L-Verhältnis von

Tabelle 1: Höhen-Längen-Verhältnis (H/L) verschiedener dokumentierter Felssturz-Ereignisse.

Ort	Auslaufzone	Sturzhöhe [m]	Auslaufdistanz [m]	H/L Ratio	Volumen
Cengalo	Dünne Schneedecke	1600	2710	0.59	1.5 Mio.
Weisshorn	Dicke Schneedecke	480	1100	0.44	0.3 Mio.
Kesch	Dicke Schneedecke	435	1130	0.38	0.15 Mio.
Val Strem	Dicke Schneedecke	600	1560	0.38	0.2 Mio.
Morteratsch	Eis	500	1000	0.5	0.3 Mio.
Flatschhorn	Dicke Schneedecke	320	790	0.41	0.8 Mio.

0.4 verwendet, aus dem sich zusammen mit 200 m Pufferzone die maximale Reichweite des Sturzes ergibt. Die Breite der Sturzbahn wurde pauschal auf 400 m festgesetzt. Das H/L-Verhältnis entspricht zwar gängigen Werten für Felsstürze und kleine Bergstürze (Zhan et al., 2017), insbesondere grössere Bergstürze im vergletscherten Gebirge deren Volumen viele Millionen Kubikmeter umfasst können aber auch kleinere H/L-Verhältnisse erreichen. Derartige Extremereignisse sind sehr selten und sprengen die Erfassungsmöglichkeiten der von uns gewählten Methodik.

Bestimmung potentiell instabiler, kritischer Standorte

Um zu ermitteln, welche Standorte möglicherweise bezüglich Infrastruktur im Kanton Wallis relevant sind, werden die potentiell gefährdeten Gebiete (siehe Kapitel 2.4) mit dem bestehenden Schadenpotential verschnitten. Als Schadenpotential wurden Objektkategorien für Siedlungen, Verkehrswege, touristischer und industrieller Infrastruktur des Objektkatalogs swissTLM3D 1.7 (swisstopo) berücksichtigt. Die potentiell instabilen, kritischen Standorte werden im Folgenden anhand des Risikohinweises beurteilt und kategorisiert,

Kategorisierung potentiell instabiler, kritischer Standorte

Herleitung Risikohinweis

Die Herleitung des Risikohinweises folgt der Methodik, welche für die Risikobewertung der gefährlichen Gletscher im Wallis bereits verwendet wird (Methodik siehe wasser/schnee/lawinen (2017), geoformer igp AG (2018)). In die Herleitung des Risikohinweises fliessen in einem ersten Schritt die Gefahrenart (A), die betroffene Infrastruktur (B), sowie Kriterien zu Gefahrenhinweisen (C) ein. Das Schema der Herleitung ist in Abbildung 3 ersichtlich. Die Kriterien, welche als Gefahrenhinweise

(C) verwendet werden, sind automatisch aus Grundlagendaten und der GIS-Analyse ermittelbar. Diese fliessen in den Risikohinweis 1 ein, welcher automatisiert für alle Standorte berechnet wird. Der Risikohinweis 1 wird gemäss der folgenden Formel hergeleitet.

$$RI1 = (\sum A + \sum B) * \sum C$$

Die kritischen Standorte (d.h. hoher Risikohinweis 1) werden anschliessend gemäss den Kriterien der geologisch-geomorphologischen Prädisposition (D) vertiefter beurteilt. Die Anzahl der Standorte, für welche die geologisch-geomorphologische Prädisposition (D) durchgeführt wird, muss bei vorliegenden Resultaten von Risikohinweis 1, festgelegt werden. Der Risikohinweis 2 wird gemäss der folgenden Formel hergeleitet.

$$RI2 = (\sum A + \sum B) * (\sum C + \sum D)$$

Die einzelnen Kriterien der Faktoren A, B, C und D werden in den Kapiteln 3.2 bis 3.5 detaillierter erläutert.

Die Gewichtung der Kriterien wird aufgrund von Fallbeispielen ermittelt und mittels einer Sensitivitätsanalyse überprüft.

Gefahrenart (Parameter A)

Die Gefahrenart jedes Standorts wird aufgrund des Potentials zur Entwicklung der Felsinstabilität in eine Prozesskette beurteilt. Jeder Standort weist die Gefahrenart Felsinstabilität auf. Befindet sich im potentiell durch diesen Standort gefährdeten Gebiet ein See oder ein Gletscher, wird für die mögliche Verkettung der Prozesse der Index der Gefahrenart erhöht. Der Faktor Schnee wird aufgrund seiner Variabilität vorerst nicht berücksichtigt.

Betroffene Infrastruktur (Parameter B)

Für jeden Standort wird die möglicherweise

betroffene Infrastruktur ermittelt. Jede betroffene Objektart pro Standort wird gewichtet und aufaddiert. Die Gewichtung der betroffenen Infrastruktur entspricht derjenigen wie sie bereits im Projekt «Gefährliche Gletscher im Wallis» in geoformer igp AG (2018) angewendet wurde. So werden z.B. Siedlungen 3-fach gewichtet, Verbindungsstrassen und Bahnlinien 2-fach, Alpstrassen 1-fach etc. (siehe auch Abbildung 3).

Gefahrenhinweise (Parameter C)

Die Kriterien der Gefahrenhinweise und der geologisch-geomorphologischen Prädisposition folgen der geologischen Gefahrenbeurteilung. Ähnliche Vorgehensweisen zur Kategorisierung von Standorten geologischer Instabilitäten wurden beispielsweise in Hermanns et al. (2013) und van Westen et al. (2008) angewendet.

Als Gefahrenhinweise werden alle Kriterien verwendet, welche Hinweise auf eine mögliche Instabilität liefern und zu welcher Grundlagendaten vorliegen oder durch flächendeckende Auswertungen hergeleitet werden können. Folgende Kriterien fliessen als Gefahrenhinweise in die Beurteilung mit ein:

- Bekannte Ereignisse (Felssturz und Bergsturz): Ausbruchsstellen bekannter Fels- und Bergsturzereignisse (aus den Ereigniskatastern des Kantons und SLF) sind ein Hinweis auf die Prädisposition von Felsinstabilitäten am entsprechenden Standort.
- Aktuelle Bewegungen: Können Bewegungen in den Felswänden gemessen werden, deutet dies auf eine Aktivität und mögliche Destabilisierung der Felswand hin. Es ist jedoch zu beachten, dass aktuelle Bewegungen im steilen hochalpinen Gelaende in den InSAR-Daten schlecht detektierbar sind und amtliche Vermessungen oft fehlen.
- Steinschlagaktivität: Eine erhöhte Steinschlagaktivität kann darauf hindeuten, dass ein Standort zunehmend instabil wird.

Risikohinweis 1 (automatisch, für alle Standorte)										Risikohinweis 2 (für gem. Risikohinweis 1 kritische Standorte)										
A: Gefahrenart (1=WAHR, 0=FALSCH)			B: Betroffene Infrastruktur (0=nicht betroffen, 1=betroffen)							C: Gefahrenhinweise				D: Geologisch-geomorphologische Prädisposition						
☉	💧	❄️	🏠	🚗	🏔️	🚆	⚠️	⚡	🧑	⚡	➡️	⚫	🌊	⬆️	🏠					
Felsinstabilität	Prozesskette mit See	Prozesskette mit Gletscher	Siedlung (Gewichtung: 3-fach)	Strasse (Gewichtung: 2-fach)	Alpstrasse (Gewichtung: 1-fach)	Eisenbahn (Gewichtung: 2-fach)	Alp (Gewichtung: 1-fach)	Kraftwerk, Hochspannungsleitung, Kleswerk (Gewichtung: 2-fach)	Tourist-Anlage (Skigebiet, Bahnanlagen, Camping etc.) (Gewichtung: 3-fach)	Tourist-Anlage (Wanderweg, Lölpe etc.) (Gewichtung: 1-fach)	bekannte Ereignisse (Felssturz und Bergsturz) (0 = keine Ereignisse, 1 = Ereignisse bekannt)	aktuelle Bewegungen (0 = keine Bewegungen oder keine Informationen, 1 = Bewegungen gemessen)	Steinschlagaktivität (0 = keine Steinschlagaktivität, 1 = Steinschlagaktivität bekannt, 2 = Steinschlagaktivität erhöht)	kartierte Anzeichen von Instabilitäten (Nackentalchen, Abrissrand) (0 = nicht vorhanden, 1 = vorhanden)	kartierte Diskontinuität vorhanden (1 = Bruch oder Verwerfung, 2 = mehrere Brüche/Verwerfungen oder Überschiebung, Aufschiebung, Deckengrenze)	Risikohinweis 1 $RIS_{Standort} = (\sum A + \sum B) \sum C$				
kinematische Wahrscheinlichkeit Felsabbruch (0 = Ausbruch kinematisch nicht möglich, 1 = Ausbruch teilweise kinematisch möglich, 2 = Ausbruch kinematisch möglich)	möglicher Gleithorizont / ungünstig orientierte lithologische Schwachschicht (0 = nein, 1 = ja)				Persistenz der Klüfte (0 = keine persistente Klufsysteme, 1 = persistente Klufsysteme)				Auflockerungsgrad Gebirge/Wahrscheinlichkeit für Abruch Grossvolumen (0 = stark aufgelockert (vorherrschend Steinschlagaktivität), 1 = massives Gebirge (Fels-/Bergsturzpotential))				geomorphologische Instabilitätsanzeichen (0 = nein, 1 = ja)				geomorphologische Anzeichen von prähistorischen Ereignissen (0 = nein, 1 = ja)			
Risikohinweis 2 $RIS_{Standort} = (\sum A + \sum B) \sum C \sum D$																				

Abbildung 3: Das Schema zur Herleitung des Risikohinweises jedes Standortes berücksichtigt die Gefahrenart (A), betroffene Infrastruktur (B), Gefahrenhinweise (C) und Gefahrenbeurteilung (D).

Häufig wird im Vorfeld von Bergstürzen eine Häufung von Steinschlagereignissen beobachtet (Rosser et al. 2007, Royán et al. 2014, Kromer et al. 2015, Walter et al. 2020).

- Kartierte Anzeichen von Instabilitäten (Nackentalchen, Abrissrand, etc.) gemäss Geocover: Bestehende Instabilitäten können geomorphologische Anzeichen im Gelände vorweisen (BUWAL, 2004). Ob solche Anzeichen zu beobachten sind, hängt jedoch von der Art der Instabilität ab. Im steilen, hochalpinen Gelände sind solche Strukturen weniger ausgeprägt zu erwarten.
- Kartierte Diskontinuitäten: Tektonische Strukturen sind Schwächezonen, welche die Entstehung von Felsinstabilitäten begünstigen (Korup, 2004, Brideau et al. 2009, Jaboyedoff et al. 2011, Stead und Wolter, 2015, Philipps et al. 2016). Kartierte Brüche, Verwerfungen und tektonische Grenzen aus dem Datensatz des Geocover fliessen

somit als Gefahrenhinweis in die Herleitung des Risikoindex 1 ein.

Geologisch-geomorphologische Prädisposition (Parameter D)

- Kinematische Wahrscheinlichkeit Felsabbruch: Die Prädisposition von Felsinstabilitäten kann durch eine kinematische Analyse der geologischen Struktur ermittelt werden (Hoek and Bray, 1981). Die Orientierung der Diskontinuitäten bestimmen die Art des Ablösemehanismus eines Felsabbruchs. Die Orientierung der Diskontinuitäten wird anhand von Strukturmessungen aus dem Geocover Datensatz, sowie Analyse des DHM ermittelt.
- Möglicher Gleithorizont / ungünstig orientierte lithologische Schwachschicht: Ist ein möglicher Gleithorizont vorhanden, erhöht dies aufgrund der geringeren Gesteinsfestigkeit entlang der Schwachschicht die Wahrscheinlichkeit einer Felsinstabilität.

Ob ein möglicher Gleithorizont am Standort vorhanden ist, wird aufgrund der lokalen Geologie (Struktur und Lithologien) gutachterlich bestimmt.

- Persistenz der Klüfte: Die Persistenz der Klüfte gibt einen Hinweis darauf, ob diese die Stabilität der Felswand beeinflussen. Dieses Kriterium wird anhand von Luftbildern und terrestrischen Aufnahmen, sowie der lokalen Geologie bestimmt.
- Auflockerungsgrad Gebirge / Wahrscheinlichkeit Ausbruch Grossvolumen: Bei starkem Auflockerungsgrad des Gebirges ohne dominante Diskontinuitäten wird vor allem Steinschlag als vorherrschender Prozess erwartet und es werden kaum grössere Ereignisse erwartet. Dieses Kriterium wird gutachterlich bestimmt.
- Geomorphologische Instabilitätszeichen: Sind Anzeichen von Instabilitäten in der Geomorphologie zu beobachten (wie z.B. Risse, Nackentalchen etc.), deutet dies auf

eine sich entwickelnde Felsinstabilität hin. Dieses Kriterium ist aufgrund manueller geomorphologischer Kartierung zu ermitteln.

- Geomorphologische Anzeichen von prä-historischen Ereignissen: Fels- und Bergsturzablagerungen im Auslaufbereich eines Standortes deuten darauf hin, dass die Prädisposition für Felsabbrüche gegeben ist und es möglicherweise zukünftig zu weiteren Ereignissen kommen könnte (manuelle geomorphologische Kartierung).

Ausblick

Im ersten Jahr des Projektes wurde die präsentierte Methodik entwickelt und die potentiell instabilen, kritischen Standorte wurden bestimmt. Dies ergab rund 1'200 Standorte. Die Herleitung des Risikohinweises 1 für diese Standorte, sowie die Auswahl der Standorte, welche mittels Risikohinweis 2 detaillierter beurteilt und anschliessend kategorisiert werden, ist noch ausstehend. Die Beurteilung der Standorte wird iterativ durchgeführt. Die Validierung des Risikohinweises, sowie der Gewichtung der Kriterien von geologisch-geomorphologischen Prädispositionen und -beurteilung erfolgt anhand detaillierter Beurteilung von Fallbeispielen, sowie einer Sensitivitätsanalyse.

Die Rangliste der Standorte soll regelmässig aktualisiert werden, wenn neue Daten oder Erkenntnisse verfügbar sind. So kann es sein, dass Standorte der Kategorie 1 (Risikohinweis 1 gering) bei einer Aktualisierung in die Kategorie 2 (Beurteilung mittels Risikohinweis 2) aufsteigen, was eine genauere Beurteilung des Standortes erfordert. Dies erlaubt ein Handling der grossen Anzahl Standorte möglicher Felsinstabilitäten.

Dieselbe Methodik kann für verschiedene Klimaszenarien angewendet werden.

Literatur

Brideau M.A., Yan M. and Stead D. (2009). The role of tectonic damage and brittle rock fracture in the development of large rock slope failures. *Geomorphology*. 103. 30-49.

BUWAL (2004). Symbolbalken zur Kartierung der Phänomene.

Corominas, J. 1996. The angle of reach as a mobility index for small and large landslides. *Canadian Geotechnical Journal*, 33 (2). 260 – 271.

Davies M., Hamza O., Harris C. (2001). The effect of rise in mean annual temperature on the stability of rock slopes containing ice-filled discontinuities. *Permafrost and Periglacial Processes*. 12. 137-144.

Deline P, Hewitt K, Reznichenko N, Shugar D, 2014. Rock Avalanches onto Glaciers, pp. 263-319. doi: 10.1016/B978-0-12-396452-6.00009-4.

Fischer L., Purves R. S., Huggel C., Noetzi J. and Haeblerli W. (2012) On the influence of topographic, geological and cryospheric factors on rock avalanches and rockfalls in high-mountain areas. *Nat. Hazards Earth Syst Sci*. 12. 241-254.

geoformer igp AG 2018. Gefährliche Gletscher Wallis - Beobachtung und Kategorisierung 2017. Jahresbericht. Brig, 1. Oktober 2018, 14 S.

Heim, A. 1932. Bergsturz und Menschenleben. Beiblatt Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich, Zürich.

Hermanns R., Oppikofer T., Anda E., Klinker L., Böhme M., Bunkholt H., Crosta G., Dahle H., Devoli G., Fischer L., Jaboyedoff M., Loew S., Saetre S., Yugsi Molina F. (2013) Hazard and risk classification for large unstable rock slopes in Norway. *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*. Book Series (6).

Hoek, E. and Bray, J. (1981). *Rock Slope Engineering*, 3rd edn. Inst Mining and Metallurgy, London, UK.

Kenner, R., Noetzi J., Hoelzle M., Raetzo H. and Phillips M. (2019) Distinguishing ice-rich and ice-poor permafrost to map ground temperatures and ground ice occurrence in the Swiss Alps. *The Cryosphere*, 13, 1925–1941.

Korup, O. 2004. Geomorphic implication of fault zone weakening: slope instability along the Alpine Fault, South Westland to Fiordland. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*. 47. 257 – 267.

Krautblatter M., Funk D. and Günzel F. (2013). Why permafrost rocks become unstable: A rock-ice-mechanical model in time and space. *Earth Surface Processes and Landforms*. 38. 876-887.

Kromer RA, Hutchinson DJ, Latto MJ, Gauthier D, Edwards T (2015) Identifying rock slope failure precursors using LiDAR for transportation corridor hazard management. *Eng Geol* 195:93–103

Jaboyedoff M., Crosta G. and Stead D. (2011) *Slope tectonics: a short introduction*. Geological Society, London, Special Publications, 351, 1-10.

- Phillips M., Wolter A., Lüthi R., Amann F., Kenner R., Bühler Y (2016). Rock slope failure in a recently deglaciated permafrost rock wall at Piz Kesch (Eastern Swiss Alps), February 2014. *Earth Surface Processes and Landforms*. 42 (3).
- Rosser N, Lim M, Petley D, Dunning S, Allison R (2007) Patterns of precursory rockfall prior to slope failure. *J Geophys Res* 112:F04014
- Royán MJ, Abellán A, Jaboyedoff M, Vilaplana JM, Calvet J (2014) Spatio-temporal analysis of rockfall pre-failure deformation using Terrestrial LiDAR. *Landslides* 11:697–709
- Scheidegger, A.E. 1973. On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides. *Rock Mechanics*. 5. 231 – 236.
- Sosio, R., Crosta, G.B., Hungr, O. 2008. Complete Dynamic Modeling Calibration for the Thurwieser Rock Avalanche (Italian Central Alps). *Engineering Geology*. 100 (1). 11-26.
- Stead D and Wolter A. (2015) A critical review of rock slope failure mechanisms: The importance of structural geology. *Journal of Structural Geology*. 74. 1-23.
- van Westen, C. J., et al. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology* 102(3-4): 112-131.
- wasser/schnee/lawinen, Ingenieurbüro André Burkard AG 2017. Gefährliche Gletscher Wallis - Beobachtung und Kategorisierung 2016. Jahresbericht. Brig, 14. Juni 2017, 13 S.
- Whittall, J., Eberhardt, E., McDougall, S. 2016. Runout analysis and mobility observations for large open pit slope failures. *Canadian Geotechnical Journal*. 54 (3). 373 – 391.
- Zhan W, Fan X, Pei X, Li W. 2017. Empirical prediction for travel distance of channelized rock avalanches in the Wenchuan earthquake area. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 17: 833-844. doi: 10.5194/nhess-17-833-2017

Vorhersage der Disposition für Taufluten

Michael Fehlmann¹ (michael.fehlmann@unige.ch)
 Estibaliz Gascón² (estibaliz.gascon@ecmwf.int)
 Mario Rohrer^{1,3} (rohrer@meteodat.ch)
 Manfred Schwarb³ (schwarb@meteodat.ch)
 Markus Stoffel^{1,4,5} (markus.stoffel@unige.ch)

¹ *Climate Change Impacts and Risks in the Anthropocene (C-CIA), Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Genève, Genève*

² *Forecast Department, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), Reading*

³ *Meteodat GmbH, Zürich*

⁴ *Département des Sciences de la Terre, Université de Genève, Genève*

⁵ *Département F.-A. Forel des Sciences de l'Environnement et de l'Eau, Université de Genève, Genève*

Résumé

La combinaison des pluies et de la fonte des neiges dans les régions préalpines et alpines a déjà provoqué de graves inondations par le passé. Dans le cadre du changement climatique, il faut s'attendre à une augmentation de ces événements, en particulier dans les zones préalpines. Afin de garantir que les autorités et la population soient préparées en cas d'événement, nous avons développé une approche de prévision à moyen terme pour de tels événements dans le cadre du projet européen ANYWHERE et l'avons testée dans trois bassins versants sélectionnés dans l'Oberland bernois

Zusammenfassung

Die Kombination von Flüssigniederschlag und Schneeschmelze in voralpinen und alpinen Gebieten hat bereits in der Vergangenheit zu schwerwiegenden Überschwemmungen geführt. Im Zuge des Klimawandels muss gerade in voralpinen Gebieten mit einer Zunahme solcher Ereignisse gerechnet werden. Um die Bereitschaft der Behörden und der Bevölkerung im Ereignisfall sicherzustellen, entwickelten wir im Rahmen des EU-Projekts ANYWHERE einen Ansatz zur mittelfristigen Vorhersage solcher Ereignisse und haben diesen in drei ausgewählten Einzugsgebieten im Berner Oberland getestet.

Einleitung

Bei sogenannten «rain-on-snow» (RoS) Ereignissen, bei denen Flüssigniederschlag mit gleichzeitigem Schmelzen der Schneedecke einhergeht, kann bereits bei moderaten Niederschlagsintensitäten eine erhebliche Abflussreaktion ausgelöst werden. Solche Ereignisse treten vor allem in voralpinen und alpinen Gebieten auf – wie etwa im Fall des Hochwasserereignisses vom 10. Oktober 2011, welches im Wallis, im Berner Oberland und in der Zentralschweiz Schäden in Gesamthöhe von gut 85 Mio. CHF verursachte (Badoux et al., 2013). RoS Ereignisse können aber auch Ursache für Überschwemmungen in grösseren Einzugsgebieten weiter stromabwärts sein. Obwohl das RoS Ereignis vom Oktober 2011 unter heutigen klimatischen Bedingungen ein eher seltenes Ereignis sein dürfte, muss in naher Zukunft im Zuge des Klimawandels besonders in Höhenlagen oberhalb 1'500 m ü. M. mit einer Zunahme von RoS Ereignissen gerechnet werden (z.B., Beniston & Stoffel, 2016; Freudiger et al., 2014; Musselmann et al., 2018).

Die Vorhersage der Abflussreaktion während RoS Ereignissen stellt auch heute noch eine grosse Herausforderung dar. Unsicherheiten bestehen dabei vor allem in der Vorhersage von Niederschlagsintensitäten und der Schneefallgrenze, in der Abschätzung des Schneewasseräquivalentes der Schneedecke

sowie bei der Repräsentation der für die Abflussbildung relevanten Prozesse (z.B., McCabe et al., 2007; Würzler et al., 2016). Diese Unsicherheiten waren schliesslich auch Grund dafür, dass das Hochwasserereignis vom 10. Oktober 2011 sehr überraschend kam und insbesondere die hydrologischen Vorhersagen nicht alarmierend ausfielen (Badoux et al., 2013; Rössler et al., 2014).

Im Gegensatz zu Studien, welche die kurzfristige Vorhersage von Spitzenabflüssen während RoS Ereignissen untersuchen (z.B., Corripio & López-Moreno, 2017; Rössler et al., 2014), haben wir im Rahmen des EU-Projektes ANYWHERE untersucht, inwiefern das Auftreten bzw. die Disposition von RoS Ereignissen bereits einige Tage im Voraus prognostiziert werden können. Das Ziel einer solchen Mittelfristvorhersage besteht dabei darin, die Beobachtung der weiteren Ereignisentwicklung sowie die Bereitschaft der Einsatzkräfte im Ereignisfall sicherzustellen. Der im Folgenden vorgestellte Ansatz ist somit lediglich als ein Bestandteil einer Kette von Handlungen bei der Vorbereitung auf einen möglichen Ereignisfall zu sehen (Abbildung 1).

Untersuchungsgebiet

Die Vorhersage von RoS Ereignissen wurde in drei Einzugsgebieten im Berner Oberland untersucht: der Kander bei Hondrich (491 km²), der Simme bei Latterbach (563 km²) und der

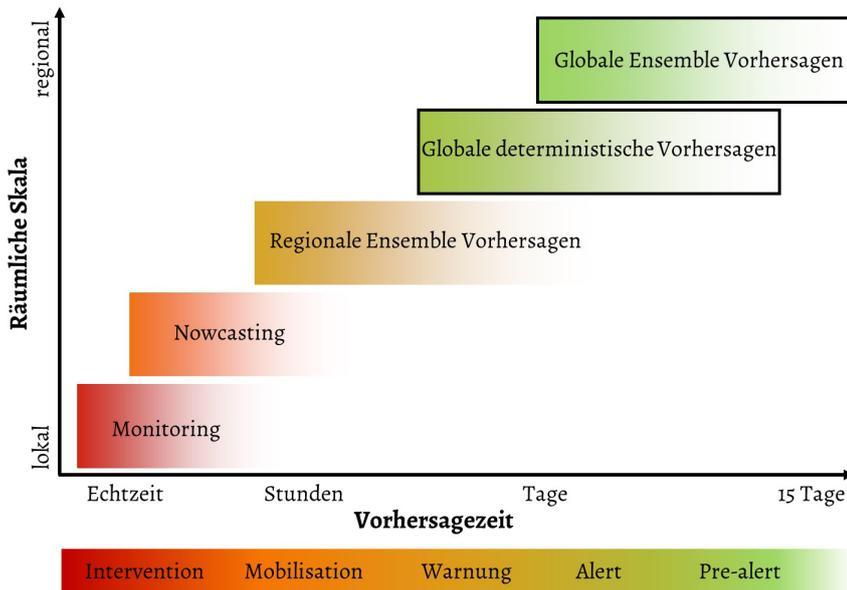


Abbildung 1: Räumliche und zeitliche Skalen meteorologischer Messungen und Vorhersagemodelle, welche in der Hochwasserfrühwarnung verwendet werden (Alfieri et al. 2012, adaptiert). Der hier vorgestellte Ansatz verwendet globale Modelle zur Vorhersage von «rain-on-snow» Ereignissen einige Tage im Voraus.

Emme bei Wiler, Limpachmündung (937 km²). Die Analyse von RoS Ereignissen in diesen Höhenlagen ist besonders interessant, da hier während längeren Zeitperioden Schnee liegen kann und in Zukunft aufgrund einer Verschiebung von Schneefall zu Regen mit einer Zunahme von RoS Ereignissen gerechnet werden muss.

Während die Kander besonders für die Analyse des Hochwasserereignisses vom Oktober 2011 interessant ist, wurde mit der Emme bewusst ein tiefer gelegenes Einzugsgebiet gewählt (mittlere Höhe: 858 m ü. M.), in dem RoS Ereignisse häufiger auch in den Wintermonaten auftreten können. Besonders relevant sind die Hochwasserverhältnisse in der Emme zudem für die Regulierung des Bielersees: Kündigt sich ein Emmehochwasser an, muss der Ausfluss aus dem Bielersee kurzzeitig gedrosselt werden, um in der Aare zwischen Port und Murgenthal entsprechende Kapazität zu schaffen (sogenanntes «Einbremsen der Emme»; Wehren & Schudel, 2012).

Methodik

Um das Auftreten von RoS Ereignissen mittelfristig vorherzusagen, wurde in dieser Studie das operationelle Wettermodell des europäischen Wetterdienstes ECMWF als Input für ein konzeptuelles hydrologisches Modell verwendet. Diese Modellkette wurde anhand der Reanalyse desselben Wettermodells sowie aufgrund satellitengestützter und lokaler Messungen über eine Periode von 10 Jahren (2005–2015) kalibriert und während drei Jahren (2015–2018) evaluiert. Eine detaillierte Beschreibung der Methodik ist in Fehlmann et al. (2019) zu finden, während wir an dieser Stelle lediglich ausgewählte Aspekte hervorheben möchten.

Hydrologisches Modell und Energiebilanz

Für die hydrologische Modellierung wurde ein konzeptuelles hydrologisches Modell mit der Grundstruktur des HBV-Modells verwendet. Die Parametrisierung der Energiebilanz wurde jedoch angepasst, da insbesondere

die turbulenten Wärmeflüsse für die Schneeschmelze während RoS Ereignissen zentral sind und diese durch konventionelle Temperaturindexverfahren nur ungenügend abgebildet werden (z.B., Rössler et al., 2014). Folglich wird in der Simulation zwischen sogenannter Strahlungsschmelze und Advektionsschmelze unterschieden. Bei letzterer fließt neben der Temperatur auch die Windgeschwindigkeit, die Luftfeuchte und die Niederschlagsintensität ein. Die Speicherkapazität der Schneedecke wird dahingehend berücksichtigt, als dass die Schneedecke einen Flüssigwassergehalt von bis zu 10 % ihrer trockenen Masse halten kann.

Berücksichtigung satellitengestützter und lokaler Daten

Für die Kalibration und Evaluation des hydrologischen Modells wurden neben Abflussdaten auch satellitengestützte Beobachtungen der Schneebedeckung (MODIS-Satellitenbilder) sowie lokale Schneehöhenmessungen berücksichtigt. Durch die Verwendung solcher Daten wird eine verbesserte Repräsentation der Schneedecke im Modell angestrebt.

Definition von RoS Ereignissen

RoS Ereignisse werden in der Literatur je nach Ziel der Studie unterschiedlich definiert. Die meisten Studien berücksichtigen aber sowohl Kriterien zum Flüssigniederschlag als auch Kriterien zur vorherrschenden Schneedecke. In dieser Studie verwenden wir die Definition von Musselmann et al. (2018), wonach ein RoS Ereignis in einem Einzugsgebiet durch einen Flüssigniederschlag grösser als 10 mm, ein Schneewasseräquivalent grösser als 10 mm sowie einen Schmelzwasserbeitrag von über 20 % charakterisiert ist.

Ergebnisse

Evaluation des Modells und der Vorhersage

Eine Betrachtung der Modellgüte über drei Jahre (2015–2018) zeigt, dass insbesondere die Simulation der Schneebedeckung im Einzugsgebiet sowie des Schneewasseräquivalents an ausgewählten Stationen recht gut ist. Auch nimmt die Modellgüte bezüglich dieser Größen mit zunehmender Vorhersagezeit nur sehr leicht ab, was hier als wichtige Voraussetzung für die Vorhersage von RoS Ereignissen angesehen wird. Deutlich grössere Unsicherheiten bestehen bei der Vorhersage des Flüssigniederschlags während RoS Ereignissen. Zudem scheint dieser vom Vorhersagemodell tendenziell unterschätzt zu werden, weshalb wir vorschlagen, den erwähnten Grenzwert in der Vorhersage leicht anzupassen bzw. abzusenken.

Abbildung 2 zeigt die resultierenden Treffer- bzw. Fehlalarmraten bei der Vorhersage von RoS Ereignissen für Vorhersagezeiten von 1 bis 7 Tage. Die Trefferrate ist bis zu 4 Tagen im Voraus noch über 80 % und sinkt bis zum Tag 7 auf unter 60 %, was hauptsächlich auf die zunehmende Unterschätzung des Niederschlags zurückgeführt werden kann. Die Fehlalarmrate steigt mit zunehmender Vorhersagezeit nur leicht an und bleibt bis zu einer Vorhersagezeit von 7 Tagen unter 10 %.

Fallbeispiel Oktober 2011

Das Potenzial des entwickelten Ansatzes soll im Folgenden am Beispiel des RoS Ereignisses vom 10. Oktober 2011 in der Schweiz aufgezeigt werden. Aus meteorologischer Sicht war dieses Ereignis durch anhaltenden Schneefall wenige Tage vor dem Ereignis sowie dem anschliessenden Durchgang eines sogenannten «Atmosphärenflusses» charakterisiert, der warme und feuchte Luft zu den Alpen transportierte. Die Folge waren inten-

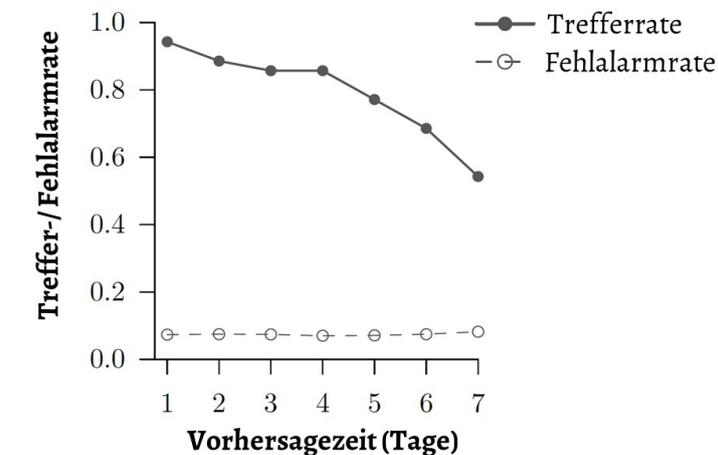


Abbildung 2: Treffer- und Fehlalarmraten bei der Vorhersage von «rain-on-snow» (RoS) Ereignissen im Vergleich zur Analyse (2015-2018). Für die hydrologische Vorhersage und Analyse wurde das operationelle Wettervorhersagemodell des europäischen Wetterdienstes ECMWF (bzw. dessen Reanalyse) als Input für ein konzeptuelles hydrologisches Modell verwendet.

sive Niederschläge sowie ein rapider Anstieg der Nullgradgrenze von 1'500 auf 3'200 m ü. M. in 24 Stunden (Rössler et al., 2014), was unter anderem auch im Kandertal zu einer RoS Situation führte. In der Kander bei Hondrich erreichte der Abfluss am 10. Oktober 265 m³/s, was dem zweitgrössten seit 1981 gemessenen Abfluss entspricht und mit dem Maximalabfluss während des Hochwassers 2005 (273 m³/s) vergleichbar ist. Auch die Simme war von einem RoS Ereignis betroffen – deren Spitzenabfluss bei Latterbach (145 m³/s) war statistisch jedoch weniger extrem als in der Kander. Ebenfalls erwähnenswert ist, dass beide Flüsse in den Thunersee münden, welcher während des Ereignisses stark anstieg und über den Hochwasser-Entlastungsstollen reguliert werden musste, was zu einem starken Anstieg der Aare zwischen Thun und Bern führte.

Abbildung 3 fasst die Analyse und die Vorhersagen des hier vorgestellten Ansatzes für dieses Ereignis zusammen, mit Fokus auf der Kander. Während die linke Abbildung die aus Satellitenbildern abgeleitete Schneeakkumulation und –schmelze vom 6. bis zum 11. Oktober mit der Vorhersage des 6. Oktober 2011 vergleicht, zeigt die rechte Abbildung

die Vorhersage von RoS Bedingungen für die Kander bei Hondrich. So wird mit diesem Ansatz für den 10. Oktober 2011 sowohl in der Kander als auch in der Simme (hier nicht im Detail gezeigt) ein RoS Ereignis bis 7 Tage im Voraus prognostiziert, während die Schneebedeckung und –schmelze im Emmental beinahe vernachlässigbar waren. Wird eine deterministische Wettervorhersage (RoS Ereignis: Ja/ Nein) verwendet, treten im Fall der Kander einige Fehlalarme bezüglich des Zeitpunktes des Ereignisses auf, d.h. das RoS Ereignis wird durchgehend bereits für den 9. Oktober und teilweise auch für den 11. Oktober vorhergesagt. Wird eine Ensemble-Vorhersage verwendet, kann die Vorhersage durch eine Angabe von Wahrscheinlichkeiten noch besser differenziert werden. So wird das RoS Ereignis in der Kander (und auch in der Simme) vier Tage im Voraus mit einer Wahrscheinlichkeit von über 80 % vorhergesagt. Wie die Verifikation der Vorhersage mit den Satellitenbildern zeigt, werden auch räumliche Muster der Schneeakkumulation und –schmelze relativ gut abgebildet.

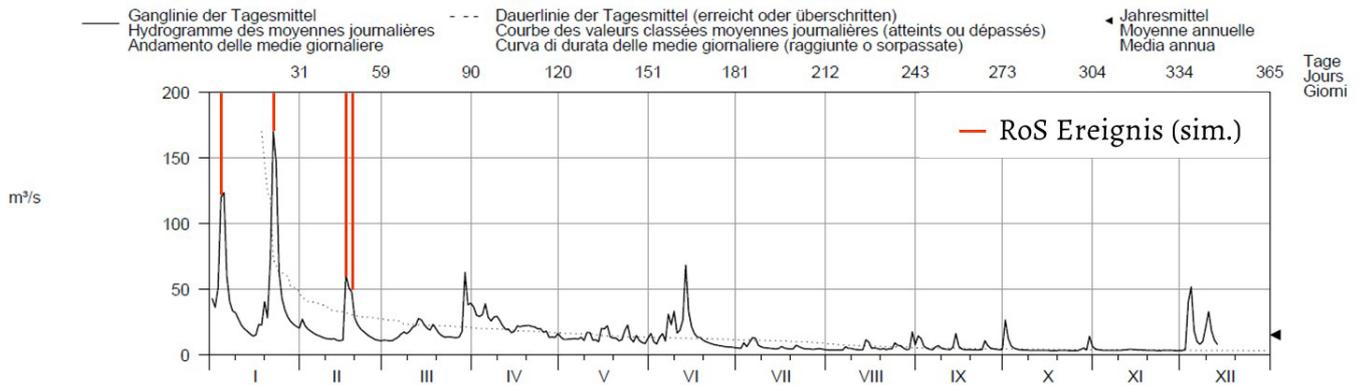


Abbildung 4: Gemessener Abfluss sowie mit dem vorgestellten Ansatz simulierte «rain-on-snow» (RoS) Ereignisse in der Emme bei Wiler, Limpachmündung im Jahr 2018. (Abflussdaten: <https://www.hydrodaten.admin.ch>).

Literatur

- Alfieri, L., Salamon, P., Pappenberger, F., Wetterhall, F., & Thielen, J. (2012). Operational early warning systems for water-related hazards in Europe. *Environmental Science & Policy*, 21, 35–49.
- Badoux, A., Hofer, M., & Jonas, T. (Red.) (2013). Hydrometeorologische Analyse des Hochwasserereignisses vom 10. Oktober 2011. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, geo7, Bundesamt für Umwelt BAFU. 92 S.
- Beniston, M., & Stoffel, M. (2016). Rain-on-snow events, floods and climate change in the Alps: Events may increase with warming up to 4 °C and decrease thereafter. *Science of the Total Environment*, 571, 228–236.
- Corripio, J., & López-Moreno, J. (2017). Analysis and predictability of the hydrological response of mountain catchments to heavy rain on snow events: A case study in the Spanish Pyrenees. *Hydrology*, 4(2), 20.
- Fehlmann, M., Gascón, E., Rohrer, M., Schwarb, M., & Stoffel, M. (2019). Improving Medium Range Forecasts of Rain on Snow Events in Prealpine Areas. *Water Resources Research*, 55(9), 7638–7661.
- Freudiger, D., Kohn, I., Stahl, K. & Weiler, M. (2014). Large-scale analysis of changing frequencies of rain-on-snow events with flood-generation potential. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(7), 2695–2709.
- McCabe, G. J., Clark, M. P., & Hay, L. E. (2007). Rain-on-snow events in the western United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88(3), 319–328.
- Musselman, K. N., Lehner, F., Ikeda, K., Clark, M. P., Prein, A. F., Liu, C., et al. (2018). Projected increases and shifts in rain-on-snow flood risk over western North America. *Nature Climate Change*, 8(9), 808.
- Rössler, O., Froidevaux, P. A., Börst, U., Rickli, R., Martius, O., & Weingartner, R. (2014). Retrospective analysis of a nonforecasted rain-on-snow flood in the Alps: A matter of model limitations or unpredictable nature? *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(6), 2265–2285.
- Wehren, B., & Schudel, B. (Red.) (2012). Regulierung der Jurarandseen. Grundlagen und Vorgehen. Amt für Wasser und Abfall AWA, Abteilung Gewässerregulierung. 19 S.
- Würzer, S., Jonas, T., Wever, N., & Lehning, M. (2016). Influence of initial snowpack properties on runoff formation during rain-on-snow events. *Journal of Hydrometeorology*, 17(6), 1801–1815.

Auswirkungen des Klimawandels auf Häufigkeit und Ausmass von Hochwasserereignissen in gebirgigen Einzugsgebieten

Silvan Ragetti¹ (ragetti@hydrosolutions.ch)
 Andreas Sutter² (andreas.sutter@geotest.ch)
 Severin Schwab² (Severin.Schwab@geotest.ch)
 Manfred Stähli³ (manfred.staehli@wsl.ch)

¹ hydrosolutions GmbH, Zürich

² GEOTEST AG, Zollikofen

³ Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf

Résumé

Les crues futures sont difficiles à quantifier, surtout si leur période de retour est plus longue que la période d'observation des événements historiques. Dans le cadre d'une actuelle recherche sino-suisse sur la gestion des inondations dans les bassins versants de petite à moyenne taille, une chaîne de modèles a été mise au point pour produire des cartes indicatives de danger pour les crues futures en tenant compte du changement climatique. L'application de la chaîne modèles dans deux bassins versants en Chine et en Suisse est examinée dans le présent article

Zusammenfassung

Zukünftige Hochwasserereignisse sind schwer zu bemessen, besonders wenn deren Wiederkehrperioden länger sind als die Beobachtungsdauer von historischen Ereignissen. Im Rahmen einer laufenden chinesisch-schweizerischen Forschungszusammenarbeit zur Hochwasserbewältigung in kleinen bis mittleren Einzugsgebieten wurde eine Modellkette entwickelt, um Gefahrenhinweiskarten für zukünftige Hochwasser unter Berücksichtigung des Klimawandels zu erstellen. Die Anwendung der Modellkette in zwei Einzugsgebieten in China und in der Schweiz wird im nachfolgenden Beitrag diskutiert.

Die Modellkette besteht aus drei eigenständigen Modellen, die sequenziell miteinander gekoppelt sind. Ganz am Anfang der Modellkette steht ein stochastischer Wettergenerator, welcher Niederschlagszeitreihen erstellt, die physikalisch konsistent mit vorhandenen Beobachtungsdaten sind. Die für diese Studie verfügbaren Messreihen mit stündlichen Werten sind 10 bis 20 Jahre lang. Solche kurzen Messreihen sind charakteristisch für kleine und mittlere Einzugsgebiete, reichen aber aus, um die für den Wettergenerator benötigten Klimastatistiken herzuleiten. Als nächstes werden die von dem Wettergenerator erstellten Datensätze als Eingangsdaten für ein kalibriertes hydrologisches Modell verwendet. Der Vorteil dieser «künstlichen» Datensätze liegt darin, dass beliebig lange Zeitreihen generiert werden können. Im vorliegenden Beispiel wurden jeweils 300 Jahre lange Zeitreihen verwendet. Nur solche langen Zeitreihen eignen sich, um seltene Ereignisse mit langen Wiederkehrperioden zu charakterisieren. Das hydrologische Niederschlags-Abfluss Modell wird in der Folge dazu verwendet, Abflusszeitreihen der gleichen Länge zu generieren. Für jeden Punkt im modellierten Gewässernetz kann eine Häufigkeitsverteilungskurve der simulierten Abflüsse erstellt werden. Die so hergeleiteten Abflussspitzen mit Wiederkehrperioden von 10-100 Jahren (HQ10 – HQ100) bilden nun die Eingangsdaten für das letzte nachge-

schaltete Modell - eines hydrodynamischen Modelles zur Modellierung der Flusstiefen und den damit zusammengehenden Überflutungsbereichen.

Um nun eine Gefahrenhinweiskarte unter Berücksichtigung des Klimawandels zu erstellen, wird die gesamte Modellkette ein zweites Mal angewendet. Dieses Mal stehen zu Beginn aber nicht die beobachteten Klimastatistiken, sondern der Wettergenerator bildet die Klimastatistiken des Zeitraums 2021-2050 nach. Die Klimastatistiken der Zukunft werden dabei von den neuesten Klimamodellen unter Berücksichtigung der gängigen Emissionsszenarien geliefert.

Hintergrund der Studie

Die Studie wurde im Rahmen des Chinesisch-Schweizerischen Projekts «Research Project on Mountain Torrents Disaster Prevention» durchgeführt und wurde von dem Bundesamt für Umwelt kofinanziert. Die Schweiz und China haben bereits im Jahre 2009 eine Kooperation im Bereich Wassermanagement und Gefahrenprävention formalisiert. In beiden Ländern sind potenziell eine Vielzahl von kleinen und mittleren Einzugsgebieten von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Für diese Pilotstudie wurden zwei kleine bis mittlere Einzugsgebiete mit ausgeprägter Topographie ausgewählt, in denen bereits vor 10 bis 20 Jahren ein relativ dichtes Netz an

Niederschlagsmessstationen installiert wurde. Aufzeichnungen der sommerlichen Spitzenabflüsse sind sogar für 30 oder mehr Jahre verfügbar. Die beiden Testgebiete sind das Guanshan Tal (Fläche: 320,45 km²) im Einzugsgebiet des Jangtse-Flusses sowie das Alptal (46,4 km²) in den zentralen Schweizer Voralpen südlich des Zürichsees (Abb. 1).

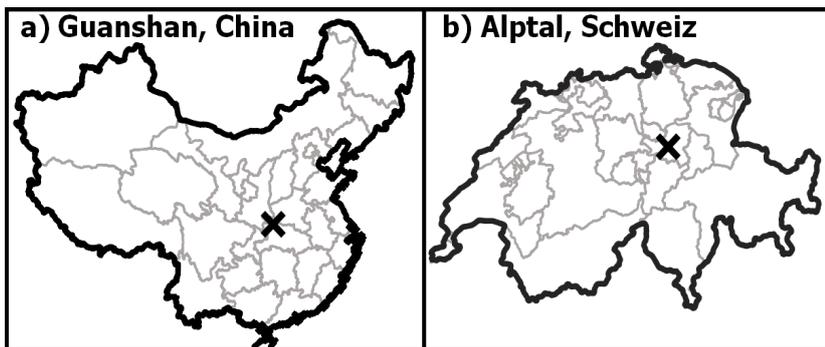


Abbildung 1: Lage der beiden Einzugsgebiete in China und der Schweiz.

Klimaszenarien und Wettergenerator

Für die Generierung von 300-jährigen Niederschlagszeitreihen wurde der stochastische Wettergenerator ST-NSRP verwendet. Für die Zukunftsszenarien wurde der Wettergenerator mit den Klimastatistiken für 2021-2050 rekaliert. Ensembles an fehlerkorrigierten regionalen Klimamodellen (RCMs) lieferten die dafür nötigen Klimastatistiken. Für beide Einzugsgebiete wurden zwei Emissionsszenarien (ein mittleres und ein pessimistisches; RCP 4.5 und RCP 8.5) berücksichtigt. Für jedes RCP standen jeweils mindestens 5 voneinander unabhängige Klimamodellrechnungen zur Verfügung.

Diese Studie konzentriert sich ausschliesslich auf sommerliche Hochwasserereignisse (Monate Mai-Oktober). Die Lufttemperatur hat dabei nur einen geringen Einfluss auf die hydrologischen Extremwerte, hauptsächlich durch Beeinflussung der anfänglichen Nässebedingungen in den Einzugsgebieten. Es wurde daher kein stochastischer Generator für die Luft-

temperatur eingerichtet. Als Eingangsdaten für das hydrologische Modell wurden gemessene bzw. von den Klimamodellen generierte Temperatur-Zeitreihen verwendet.

Niederschlags-Abfluss Simulationen

Hydrologisches Modell und Datengrundlage

Für die Niederschlags-Abfluss Simulationen wurde das hydrologische Modell PRMS-OMS verwendet. Die kleinsten räumlichen Einheiten des Modells sind sogenannte HRUs, welche sich topografische und hydraulische Eigenschaften teilen. Jedem HRU wird ein Kanalsegment zugewiesen, für welches stündliche Abflusswerte modelliert werden können. Am Ende des modellierten Gewässernetzes befindet sich jeweils eine hydrologische Station, welche die für die Kalibrierung des Modells nötigen stündlichen Abflussdaten liefert. In Guanshan standen Abflussdaten der Jahre 2007-2015 zur Verfügung und im Alptal die Daten der Periode 1999-2008. Bei der Kalibrierung wurden Nash-Sutcliffe (N-S) Effizienzwerte von 0.77 - 0.79 erreicht, was als gute Modelleistung bezeichnet werden kann.

Modellvalidierung

PRMS-OMS-Ergebnisse werden in dieser Studie anhand von zwei Arten von Daten validiert: a) Abflusswerte eines Zeitraums, der sich vom Kalibrierungszeitraum unterscheidet, und b) Hochwasserhäufigkeitskurve, wie aus historischen Aufzeichnungen der jährlichen Abflussspitzen ermittelt. Der Validierungsschritt a) konnte aufgrund der Datenlage nur im Alptal durchgeführt werden (Periode 2009-2018, ermittelter N-S Wert: 0.73). Für Validierungsschritt b) werden stochastische Eingangsdaten verwendet, die über den ST-NSRP-Wettergenerator bereitgestellt werden. Die Extremwertstatistiken der beobachteten sowie der modellierten Abflussspitzen stimmen dabei gut überein (Abb. 2). Gemäss der GEV-Verteilung der Beobachtungsdaten in Guanshan wird das Hochwasserereignis 2012 durch ein Wiederkehrintervall von 76 Jahren charakterisiert. Gemäss den stochastischen Simulationen tritt ein solches Ereignis durchschnittlich alle 108 Jahre auf (angezeigt durch die gepunkteten vertikalen Linien in Abb. 2a). Da der Beobachtungszeitraum nur 43 Jahre betrug (1973-2015), sollten die GEV-Werte für solche Grossereignisse jedoch mit Vorsicht behandelt werden. In der Tat ist das 60%-Konfidenzintervall viel grösser als die Unterschiede zwischen Beobachtungen und Simulationen.

Zukünftige Hochwasserereignisse

Nahezu alle Modellketten weisen über alle untersuchten Wiederkehrperioden (10-100 Jahre) hinweg auf eine Intensivierung zukünftiger Hochwasserextreme hin (Abb. 3). Laut den Ensemble-Durchschnittswerten steigen die potenziellen Abflussspitzen in beiden Einzugsgebieten um durchschnittlich etwa 50%. Im Alptal liegt die erhaltene Hochwasserhäufigkeitskurve der Referenzperiode (1999-2018) für beide RCPs ausserhalb des 95% -Konfidenzintervalls der für 2021-2050 identifizierten Hochwasserhäufigkeitskurve (Abb. 3c

und d). Gleiches gilt für Guanshan unter Berücksichtigung des RCP 4.5-Szenarios (Abb. 3a). In all diesen drei Fällen folgt aus keinem einzigen RCM des Ensembles eine Abnahme der Scheitelabflüsse. Das RCP 8.5 Szenario für Guanshan lässt weniger klare Aussagen zu, da zwei der fünf RCMs keine Zunahme der Extremwerte projizieren (Abb. 3b). Die Ensemble-Durchschnittswerte zeigen aber auch in diesem Fall stark nach oben.

Hydraulische 2D-Überflutungsmodellierungen

Zielsetzung, Datengrundlagen und Simulationen

Mit den durchgeführten hydrodynamischen Modellierungen wurde das Ziel verfolgt, im chinesischen Einzugsgebiet erst-mals eine Gefahrenhinweiskarte zu erstellen und auch den Einfluss der Klimaveränderung abzubilden. Eine neue Gefahrenhinweiskarte für das Alptal wurde im Rahmen dieser Studie noch nicht ins Auge gefasst. Für Guanshan wurde ein 16 km² grosser Modellierungsperimeter definiert und ein Terrainmodell mit 1 m Rasterzell-auf-lösung als Grundlage verwendet. Die Berechnungen für die rund 800'000 Gitterelemente wurden mit BASEMENT V3.0 durchgeführt. Innerhalb des Perimeters standen 30 virtuelle Pegel mit berechneter Hydrologie (Ganglinie mit Spitzenabfluss) zur Verfügung. Pro Szenario (heutiger Zustand / Zukunft RCP8.5) wurden je 3 Wiederkehrperioden (WKP) simuliert: HQ10, HQ50 und HQ100.

Grobe Kalibrierung und Resultate

Zur groben Modellkalibrierung konnte eine Marke des Hochwassers vom 5. August 2012 verwendet werden (Abb. 4). Diese zeigt eine Fliesstiefe von rund 2.55 m ab Terrain. Die modellierten Fliesstiefen betragen an derselben Stelle bei HQ50 rund 1.25 m und bei HQ100 rund 3.70 m. Unter der vereinfachten

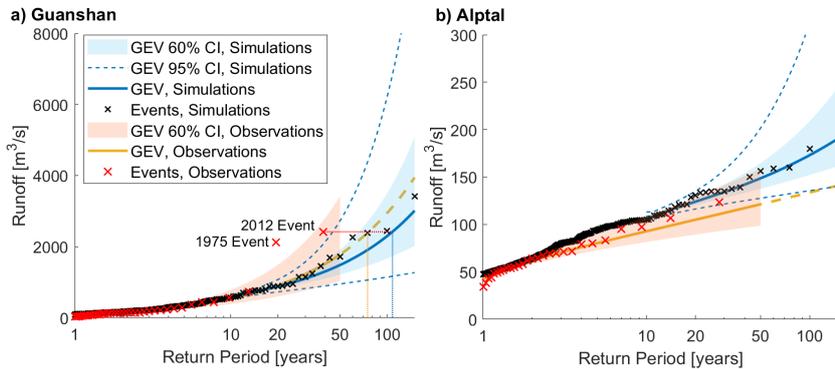


Abbildung 2: Validierung der von PRMS-OMS simulierten Wiederkehrperioden von Spitzenabflüssen in Guanshan (a) und im Alptal (b). Die Abbildung zeigt die Wiederkehrperioden der beobachteten und simulierten stündlichen Spitzenabflüsse gemäss der empirischen Wahrscheinlichkeitsverteilung (Kreuze) und der Extremwertstatistik (generalisierte Extremwertverteilung, GEV). Quelle: Ragetti et al., 2019.

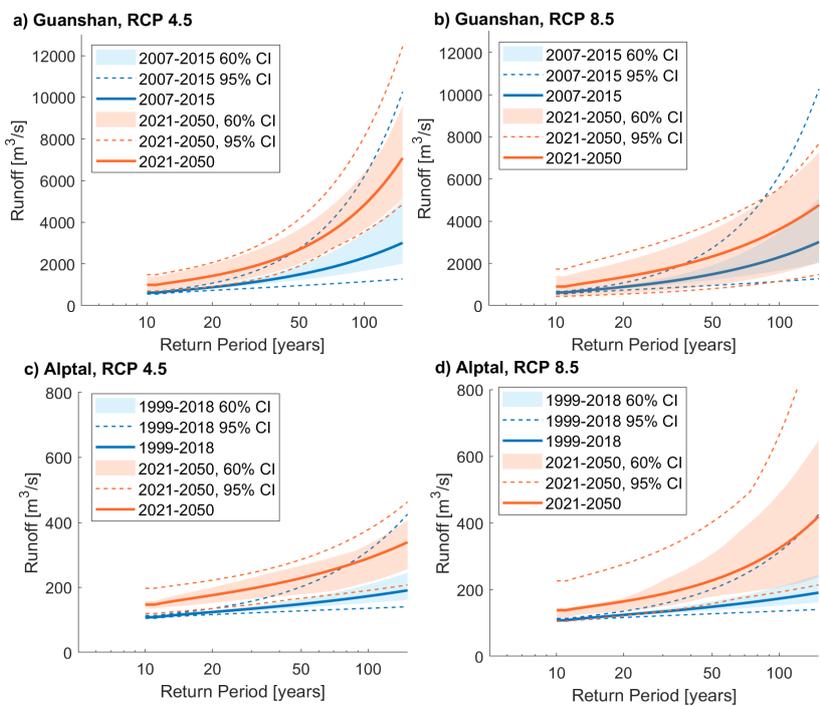


Abbildung 3: Hochwasserhäufigkeitskurven für Guanshan (a, b) und Alptal (c, d) für die Referenzperiode (blaue Linien) und den zukünftigen Zeitraum 2021-2050 (rote Linien, zwei Klimaszenarien RCP 4.5 und RCP 8.5, Ensemble-Durchschnittswerte). Quelle: Ragetti et al., 2019.

Annahme einer linearen Beziehung zwischen den Werten (aufgrund der steilen Talflanken) resultiert für das Ereignis 2012 eine Wiederkehrperiode von ca. 75-80 Jahren. Aus rein hydrologischer Sicht kann dem Ereignis eine WKP von 76-108 Jahren zugeordnet werden. Im Sinne einer sehr groben Kalibrierung wird diese Einstufung als genügend genau gewertet.

Die modellierten Überflutungsbereiche zeigen, dass ausserhalb des Siedlungsraumes be-

reits ab HQ10 stellenweise Austritte aus dem Gerinne möglich sind. Bei HQ50 nehmen die Überflutungen deutlich zu und treffen Siedlungen. Bei HQ100 wird beim Gebietsauslass für das zukünftige Szenario im Vergleich zu heute mit einer Zunahme des Spitzenabflusses um rund 60 % gerechnet. Dies führt insbesondere im Siedlungsraum mit etwas breiteren Talsohlen zu deutlich grösseren Überflutungsbereichen (Abb. 5).



Abbildung 4: Flutmarke des Hochwassers vom 5. August 2012 in Guanshan (Quelle: Silvan Ragettli).

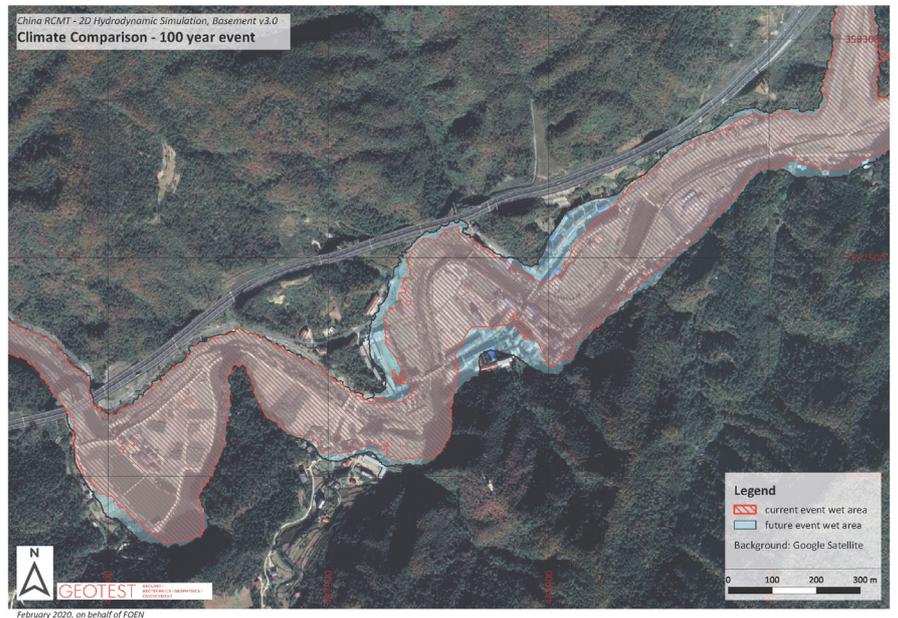


Abbildung 5: Vergleich der benetzten Fläche zwischen HQ100_ heute (rot schraffiert) und HQ100_Zukunft (mit Einfluss der Klimaveränderung, hellblau) für ein Gebiet mit dicht besiedelter Talsohle.

Diskussion und Ausblick

Die durchgeführten 2D-Modellierungen zeigen, dass das gewählte Vorgehen zur Erarbeitung von Gefahrenhinweiskarten auch in Gebieten mit geringer Datenverfügbarkeit zweckdienlich ist. Die resultierenden Karten können zur Bestimmung potenzieller Hotspots und als Entscheidungshilfe für die vertiefte Erarbeitung von Gefahrengrundlagen dienen. Für Arbeiten auf Stufe Gefahrenkarte müssten zwingend eine detaillierte Szenarienbildung mit Geländebegehung durchgeführt, wasserbauliche Strukturen in das Modell aufgenommen und lokale Anpassungen am digitalen Terrainmodell vorgenommen werden. Eine interessante Herausforderung wäre die Erstellung einer prospektiven Gefahrenkarte (unter Einbezug der Klimaszenarien) für die potenziell betroffenen Hotspots im Einzugsgebiet.

Fazit

Diese Studie kommt zum Schluss, dass in den beiden Testgebieten unabhängig von den gewählten Klimaszenarien und Klimamodellen mit einer Intensivierung zukünftiger Hochwasser gerechnet werden muss. Die Eindeutigkeit der Ergebnisse ist im Vergleich zu früheren Studien bemerkenswert und lässt sich durch drei Faktoren erklären, die in ähnlichen Studien selten kombiniert wurden: i) geringere statistische Unsicherheit aufgrund eines stochastischen Modellierungsansatzes, ii) hohe räumliche und zeitliche Auflösung der Simulationen und iii) der Fokus auf kleine und gebirgige Einzugsgebiete, in denen Topographie und konvektive Wetterereignisse lokal begrenzte Abflussextrême herbeiführen. Die vorliegende Studie weist detailliert darauf hin, dass empirische Daten möglicherweise für die Einschätzung zukünftiger Gefahren nicht ausreichen. Um den Schutz von Mensch und Infrastruktur vor Hochwasser auch in Zukunft sicherzustellen, werden wir in Zukunft nicht mehr darum herumkommen, den Klimawan-

del bei der Szenarienbildung vermehrt explizit zu berücksichtigen.

Referenzen

Ragettli, S., Tong, X., Zhang, G., Wang, H., Zhang, P., Stähli, M. (2019). Climate change impacts on summer flood frequencies in two mountainous catchments in China and Switzerland. *Hydrology Research*, <https://doi.org/10.2166/nh.2019.118>

Wenn das Gletscherwasser kommt

Gletscherentwicklung und Hochwasserschutz unter klimatischen Veränderungen an der Lenk

Isabelle Kull ¹(isabelle.kull@geotest.ch)

Andrea Pozzi ²(andrea.pozzi@nipo.ch)

Daniel Tobler ¹(daniel.tobler@geotest.ch)

Markus Zimmermann ³(markus.zimmermann@ndr.ch)

¹ GEOTEST AG, Zollikofen

² Niederer + Pozzi Umwelt AG

³ NDR Consulting GmbH

Résumé

La vidange soudaine du lac glaciaire de Faverges sur le glacier de la Plaine Morte a entraîné des inondations répétées à Lenk ces dernières années. Depuis 2011, le lac, qui s'étend chaque année, s'écoule chaque été sous les glaces en direction de Lenk. En 2018, lors de la vidange du lac, le débit a atteint l'ampleur d'une crue tricentenaire et a entraîné des dommages dans la zone urbanisée et un changement massif du bilan du lit du chenal. Comme mesures immédiates, des travaux de stabilisation ont été effectués en guise de mesures immédiates. Selon les prévisions glaciologiques, une augmentation continue du volume du lac et de son débit de pointe est attendue d'ici 2050. Diverses mesures de protection ont été évaluées au niveau du glacier pour protéger le village. Enfin, au printemps 2019, un canal de drainage artificiel a été construit dans la glace. Grâce à cette mesure, le volume du lac a été réduit en 2019 et l'eau a pu être évacuée sans dommages. Cela donnera maintenant le temps de lutter contre le risque résiduel restant en évaluant les mesures à prendre au fond de la vallée.

Zusammenfassung

Abrupte Entleerungen des Gletscherrandsees Faverges auf dem Plaine Morte Gletscher haben in den letzten Jahren an der Lenk wiederholt zu Überflutungen geführt. Der jährlich grösser werdende See entleert sich seit 2011 jeden Sommer subglazial in Richtung

Lenk. 2018 erreichte der Abfluss während der Seeentleerung das Ausmass eines 300-jährlichen Hochwassers und führte zu Schäden im Siedlungsgebiet und zu einem massiven Systemwechsel im Geschiebehalt des Gerinnes. Als Sofortmassnahmen wurden Stabilisierungsarbeiten am Gerinne vorgenommen. Gemäss glaziologischen Prognosen ist bis 2050 mit einer weiteren Zunahme des Seevolumens und der Abflussspitzen zu rechnen. Zum Schutz des Dorfes wurden verschiedene Schutzmassnahmen am Gletscher evaluiert. Im Frühling 2019 wurde schliesslich ein künstlicher Entwässerungskanal im Eis realisiert. Dank dieser Massnahme konnte das Seevolumen 2019 reduziert und der See schadenfrei abgeleitet werden. Damit wird nun Zeit gewonnen, um dem verbleibenden Restrisiko mit der Evaluation von Massnahmen im Talboden begegnen zu können.

Ausgangslage

Der Plaine Morte Gletscher liegt westlich des Wildstrubels in den Berner Alpen (Abb. 1). Der flache Plateaugletscher entwässert hauptsächlich nach Norden in Richtung Lenk. Seit die Gletscheroberfläche unter das Niveau der südöstlichen Wasserscheide abgeschmolzen ist, kann oberflächliches Schmelzwasser nicht mehr ins Wallis entwässern. So entstand im Verlauf der letzten Jahrzehnte der Gletscherrandsee Faverges. 2011 wurde erstmals eine Gletscherseeentleerung in Richtung Lenk beobachtet. Seither entleert sich der wachsende Gletschersee alljährlich im Hochsommer. Im Sommer 2018 führte die abrupte Entleerung des Gletschersees zu einem ausserordentlichen Hochwasser im Talboden. Dabei wurde die alte Sperre im Boden des Retzliberg (Abb. 3) zerstört und die dahinter aufgestauten Feststoffe weitgehend erodiert worden.

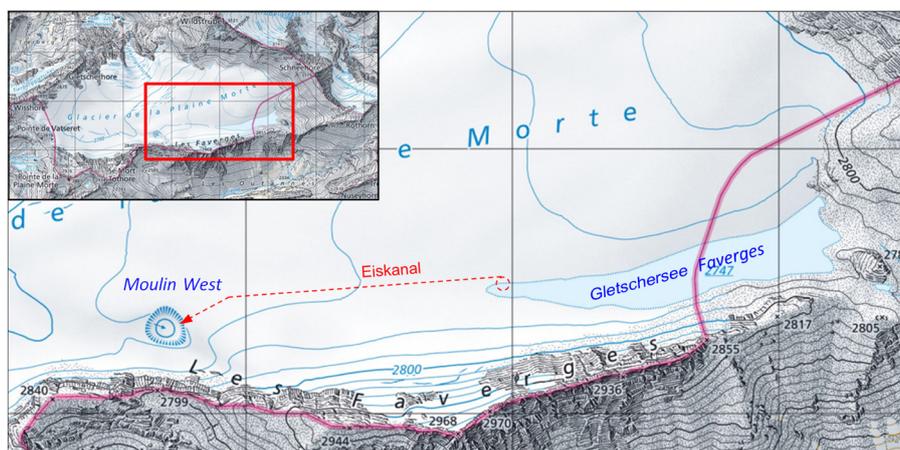


Abbildung 1: Lage des Gletschersees Faverges auf dem Plaine Morte Gletscher (SwissTopo).

Der Sedimenthaushalt hat sich in der Simme durch dieses Ereignis stark verändert. Die Folge waren grosse Schäden im Dorf Lenk.

ausserordentliches Ereignis bezeichnet werden.

Entleerungen des Gletschersees

Der Gletschersee entsteht jeweils mit der Schneeschmelze ab Mai. Die Seeentleerung beginnt typischerweise dann, wenn sich subglaziale Schmelzwasserkanäle plötzlich mit dem Gletschersee verbinden. Im Hochsommer entleerten die bis zu 2 Mio. m3 Wasser innerhalb 1-8 Tage durch subglaziale Kanäle. Das Abflussverhalten variierte bisher allerdings von Jahr zu Jahr (Abb. 2). Der Abfluss der Simme an der Lenk hat während des Seeausbruchs teilweise bis zu einem Faktor 5 zugenommen. Das Frühwarn- und Alarmsystem besteht aus Drucksonden, Webcams und einem Pegelradar zur Überwachung des Seepiegels und den Abfluss unterhalb des Gletschertors. Bei Überschreiten der Schwellenwerte werden die lokalen Behörden über SMS alarmiert. Der Alarm löst im Dorf Lenk je nach Ereignisgrösse u.a. eine Evakuierung von Gefahrengebiete aus.

Auswirkungen der Gletscherseeentleerung 2018 im Talboden

Die Gletscherseeentleerung führte im Unterlauf zu einem Kollabieren der Retzlberg-Sperre (Abb. 3 und 4), wodurch das Gerinne in diesem Bereich vollständig ausgeräumt wurde. Das Verteilwerk Barbarabrücke versagte und ein Grossteil des Abflusses gelangte in den alten Simmelauflauf, wo es zu starker Seitenerosion kam. Im bewaldeten Gebiet oberhalb von Oberwil wurden insbesondere durch Seitenerosion grössere Schwemmhölmengen mobilisiert. Im Siedlungsgebiet wurde das Quartier Rothenbach überschwemmt. Die gesamte Schadensumme lag bei 2.5 Mio. Franken. Das Ereignis hat damit zu einer wesentlichen Veränderung des Sedimenthaushalts und des morphologischen System der Simme geführt. Das Hochwasser kann entsprechend als ein

Gletschersee-Entleerungen 2012 - 2018 (Faverges-See, Plaine Morte Gletscher)

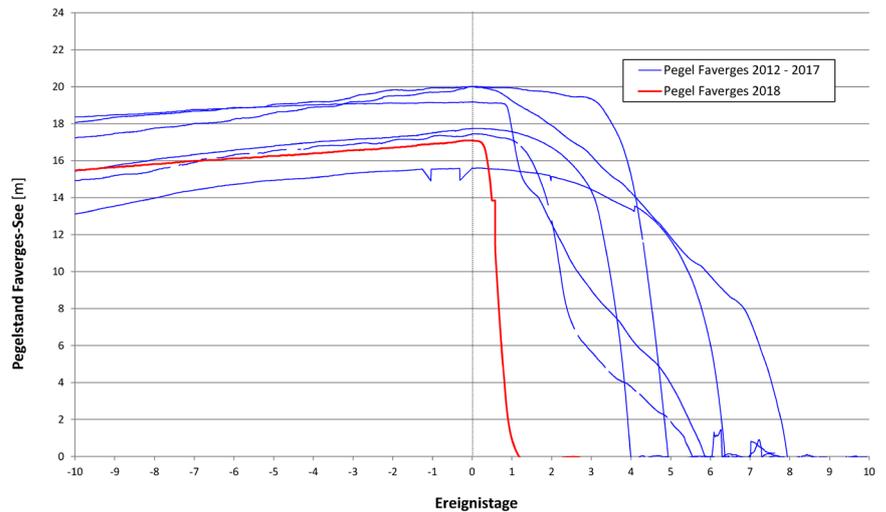


Abbildung 2: Vergleich der Dauer der Gletscherseeentleerungen von 2012 bis 2018 (GEOTEST).

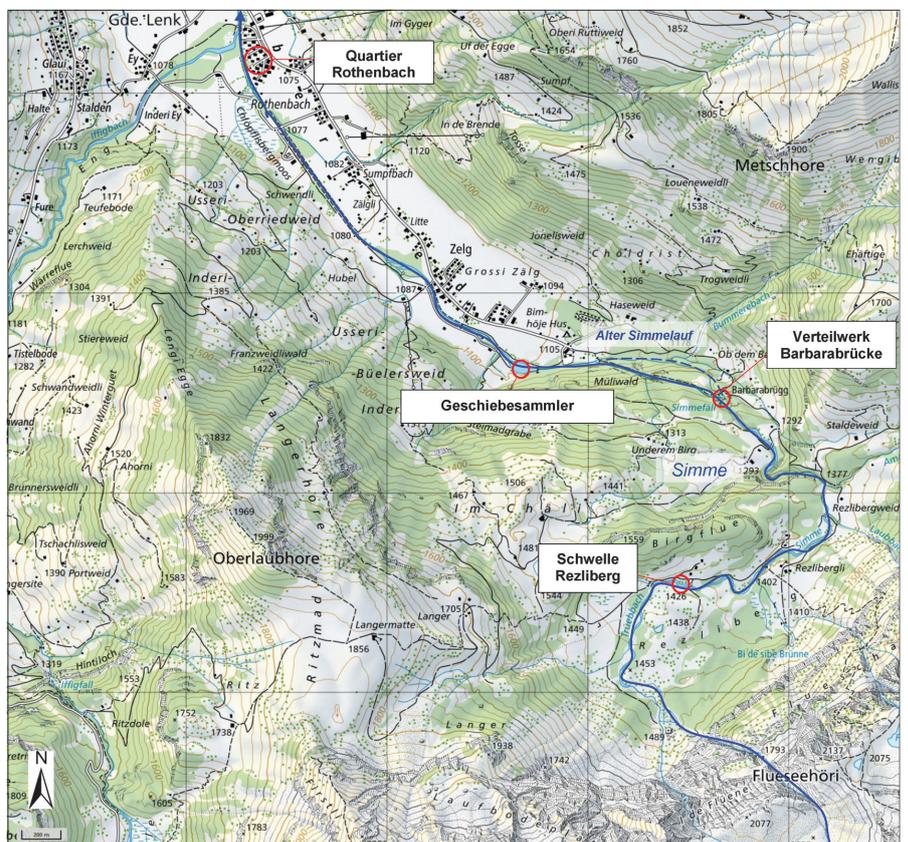


Abbildung 3: Unterlauf der Simme zwischen Gletscher und Lenk (Swisstopo).



Abbildung 4: Kollaps der Sperre im Rezliberg (M. Zimmermann).



Abbildung 5: Stahltrichterbuhne zur Remobilisierung von Feinsedimenten (D. Hodel).

Sofortmassnahmen am Gerinne

Durch die starken Gerinne- und Ufererosionen wurde das Gerinne stark geschwächt, was im Fall eines erneuten Hochwassers ein hohes Gefahrenpotential darstellte. Sofortmassnahmen waren notwendig, wurden während der LLE erarbeitet und fortlaufend umgesetzt:

- Die Schwelle im Rezliberg wurde bis auf Höhe Grundschwelle befestigt, um eine

weitere Beschädigung zu verhindern. Eine Wiederherstellung der Sperre auf die ursprüngliche Höhe war aus Sicht des Geschiebehauhalts nicht notwendig.

- Im Simmelauf unterhalb der Barbarabrücke wurde eine Gerinneausholzung durchgeführt, die Ufersicherungen bei lokalen Schadstellen saniert sowie die Abflussverhältnisse im Simmekanal verbessert.

- Die Uferanrisse im alten Simmelauf wurden mit Holzkasten saniert.
- Der Geschiebesammler im Oberried wurde unmittelbar nach dem Ereignis geleert (25'000 m³).
- Die Simme wurde neu vermessen.
- Zur Aktivierung des Geschiebetriebs im Simmekanal im Bereich Dorf wurde eine neu angefertigte, mobile Stahltrichterbuhne (Abb. 5) eingesetzt.

Zukunftsszenarien der Gletschersee Entleerungen

Prognosen Seevolumen und Abflussspitzen

Die Modellierungen der künftigen Seentwicklung bis 2050 deuten auf eine weitere Zunahme des Seevolumens bis auf rund 4 Mio. m³ hin (Huss, 2019). Gleichzeitig verlagert sich der See immer weiter nach Westen und die maximale Seespiegellage wird künftig immer tiefer zu liegen kommen (Abb.6).

Aufgrund der unsicheren empirischen Beziehung zwischen dem Seevolumen und den in den Jahren 2012-2018 beobachteten Abflussspitzen bestehen bezüglich der prognostizierten Abflussspitzen grosse Unsicherheiten. Dies wird durch eine Bandbreite der drei angewendeten Extrapolationsmethoden ausgedrückt (Abb. 7). Mit steigendem Seevolumen werden jedoch auch die Spitzenabflüsse hoch bleiben. Der Vergleich des Wertes von 2018 (grüner Maximalwert) mit den Modellresultaten künftiger Abflussspitzen zeigt, dass 80 m³/s bis ins Jahr 2050 einem realistischen Szenario entsprechen. Gemäss Modellrechnungen ist an der Lenk somit auch künftig noch mit erheblichen Sachschäden zu rechnen, sofern keine Schutzmassnahmen getroffen werden.

Auswirkungen im Talboden

Aus den glaziologischen Abflussprognosen der Seeentleerungen lässt sich ableiten, dass im Unterlauf der Simme mit Abflüssen von 80-100 m³/s zu rechnen ist. Die Wahrscheinlichkeit eines solchen Ereignisses dürfte einem 5-10-jährlichen Ereignis entsprechen. Dadurch ist für den Talboden zwischen Simmenfälle und Dorfzentrum Lenk Gefahr in Verzug. Die Schäden würden aufgrund der vorbelasteten Gerinne bei gleichbleibendem Abfluss aktuell deutlich höher ausfallen als 2018. Bei Abflüssen grösser als 2018 würde das System unterhalb des Geschiebesammlers kollabieren, da die Ufersicherungen noch nicht repariert sind und erst 2020 im Rahmen eines ISP-Projekts instandgesetzt werden können.

Die Abflusskapazität der Simme erreicht heute oberhalb der Einmündung des Iffigbachs 30-50 m³/s. Um Schäden zu vermeiden, müsste die Simme mit viel Aufwand auf eine Kapazität von ca. 100 m³/s ausgebaut werden. Gemäss Prognosen wird der Gletschersee allerdings ab 2050 stark an Volumen verlieren. Eine Kapazitätserhöhung der Simme wäre somit bestenfalls für die nächsten 30 Jahre nötig.

Ein Ausbau der Simme auf eine Abflusskapazität von 80-100 m³/s war aus den folgenden Gründen nicht verantwortbar:

- Um für das nächste Gletscherhochwasser 2019 gewappnet zu sein, hätte der Ausbau der Abflusskapazität bis Mitte Juni 2019 erfolgen müssen, was zeitlich nicht realisierbar war.
- Diese Kapazitätserhöhung bedarf eines Wasserbauplanverfahrens und wäre UVP-pflichtig, was erfahrungsgemäss 4-6 Jahre dauert.
- Die Kapazitätserhöhung braucht sehr viel Raum. Dieser fehlt im Talboden. Damit wäre ein Vollausbau der Simme nur mit harten Massnahmen möglich.
- Etlche Umweltaspekte würden verletzt (Wald, Landwirtschaft, Fischökologie, Flora

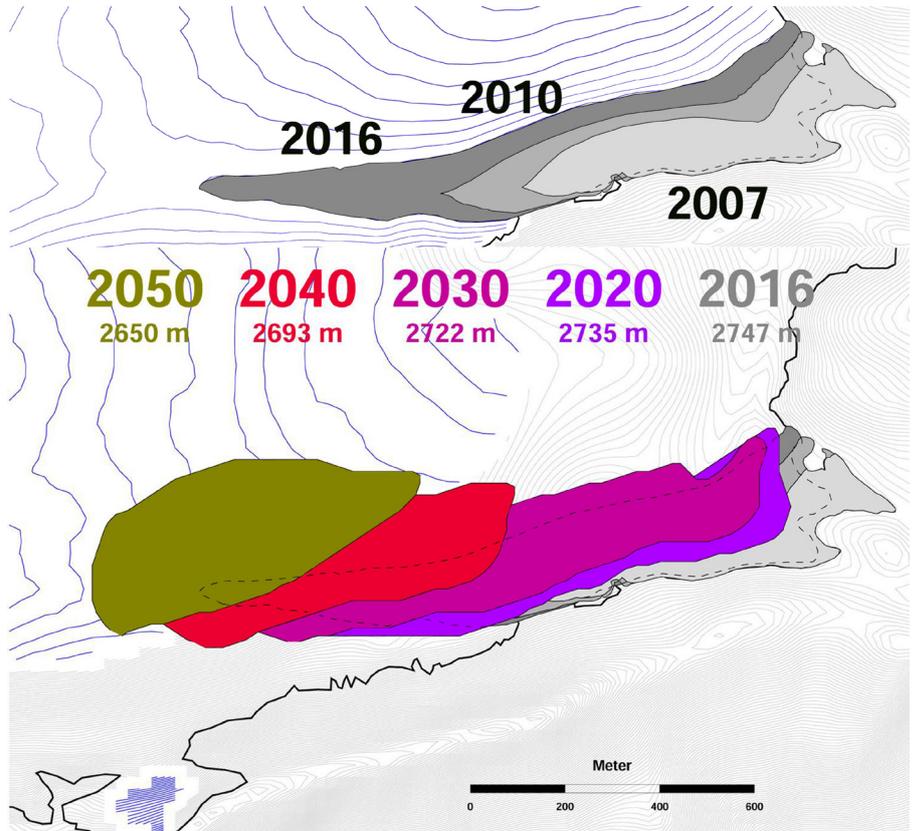


Abbildung 6: Beobachtete und berechnete Seeentwicklung (unten) unter Berücksichtigung eines mittleren Eisdickenverlustes (M. Huss, 2019).

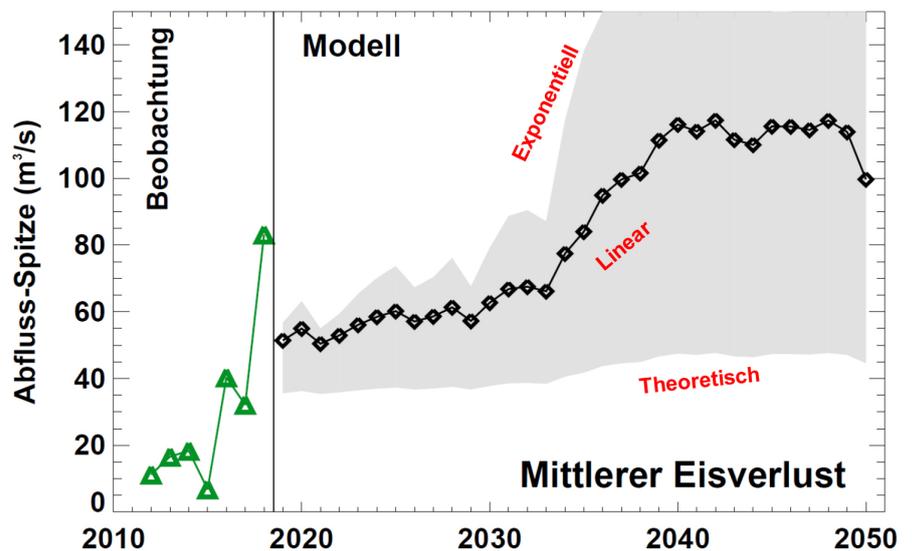


Abbildung 7: Beobachtete Abflusspitzen (grün) und zukünftige Entwicklung gemäss Modellierung (schwarz) mit Angabe der Unsicherheiten (grau) (M. Huss, 2019).

und Fauna)

- Verhältnismässig hohe Kosten (> 35 Mio. CHF).

Als Alternative müsste entweder ein Hochwasserentlastungsstollen oder ein Rückhaltebe-

cken für 1 Mio. m³ Wasser geschaffen werden. Die erforderliche Retentionsfläche von 1 km² zur Drosselung der Simme fehlt in Oberried allerdings.

Die Realisierung von effizienten Massnah-

men im Talboden ist schwierig. Daher wurden Massnahmen am Gletscher evaluiert.

Massnahmen am Gletscher Geprüfte Massnahmenvarianten

Aufgrund der engen Platzverhältnisse im Talboden wurden Massnahmen im Bereich des Gletschers geprüft. In einem Expertengremium wurden rund 10 verschiedene Eingriffsmöglichkeiten zusammengetragen. Das Spektrum der Massnahmen reichte von Abpumpen des Sees über die Schaffung eines Stollens in Richtung Wallis bis hin zu Rückhaltmassnahmen nördlich des Gletschers.

In einem Evaluationsprozess wurden die Massnahmenvarianten bezüglich u.a. Wirksamkeit, technischer Machbarkeit, Lebensdauer, Kosten und Unsicherheiten geprüft. Mehrere Massnahmenvarianten erfüllten viele der oben genannten Kriterien. Aufgrund des schlechten Gerinnezustandes der Simme war jedoch klar, dass dem Kriterium Bauzeit bzw. Realisierung vor Sommer 2019 die höchste Priorität zuteil kommt. Die einzige Schutzmassnahme die dieses Zeitkriterium erfüllen konnte, war ein Entlastungskanal im Eis zu einer nahegelegenen Gletschermühle im Westen des Sees.

Der Bau des 1.2 km langen Eiskanals war mit Realisierungskosten von rund 2 Mio. CHF voranschlag und wies ein sehr gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis auf. Im Weiteren wird der Gletscher durch diese Massnahme nur minimal verändert. Es werden zudem keine fixen Bauelemente im Eis hinterlassen, was aus Sicht des Umwelt- und Landschaftsschutzes eine optimale Voraussetzung war. Die technische Machbarkeit war gegeben, obschon man mit solch einzigartigen Bauten im Eis bisher noch keine Erfahrung hatte. Der Eiskanal erfüllte somit alle Entscheidungskriterien und ging als Bestvariante hervor.

Eiskanal – Bau, Unsicherheiten und Risiken

Beim Bau des Eiskanals wurde der Gletscher oberflächlich angeritzt, um einen künstlichen Seeüberlauf zu schaffen und damit das Seevolumen auf ein Maximalvolumen von 1 Mio. m³ zu reduzieren.

Nur ein Monat nach dem Massnahmenentscheid konnte im April 2019 mit dem 2-monatigen Bau des Eiskanals begonnen werden. Trotz grösseren technischen Schwierigkeiten

gonnen werden konnte. Diese Arbeiten waren zeit- und kostenintensiv. Die Witterungsbedingungen waren insbesondere in der Anfangsphase für Mensch und Maschine eine Herausforderung. Anhaltende Schneestürme und Nebel behinderten die Arbeiten auf dem Gletscher. Später erschwerte das hohe Schmelzwasseraufkommen und die Einsturzgefahr in Gletschermühlen und Hohlräumen die Arbeit. Höchst ungewiss war insbesondere, ob ein Vortrieb des Microtunnels im Eis aus tech-



Abbildung 8: Bau des Eiskanals mit dem Schreitbagger (P. Petroni).

konnte das Vorhaben termingerecht realisiert werden. Das Seevolumen konnte reduziert werden, und die Entleerung im Sommer 2019 fand schadenfrei statt. Die Massnahme Eiskanal hat planmässig funktioniert.

Der Bau des Eiskanals war mit Unsicherheiten und Risiken verbunden. Das grösste Risiko brachte der enorme Zeitdruck. Der Bau musste noch vor der Seefüllung Ende Juni abgeschlossen sein. Einerseits um einem mögliche Überflutungen der Baustelle zu verhindern und andererseits um eine weiterführende Destabilisierung der Gerinne im Unterlauf zu vermeiden. Die grossen Schneemengen auf dem Gletscher (4.5 m) mussten über die gesamte Strecke von 1.2 km abgestossen werden, bevor mit dem Bau des eigentlichen Kanals be-

nischer Sicht gelingen würde. Es stellte sich rasch heraus, dass das Microtunneling-Verfahren für Horizontalbohrungen im Eis wenig geeignet war. Zu gross und nicht prognostizierbar waren die Abweichungen der Bohrung. Dank rascher Anpassung des Vortriebs, Improvisation, täglicher Adaption an neue Verhältnisse und enormer Teamleistung konnte der Kanal mit intensivierten Baggerarbeiten doch noch rechtzeitig fertiggestellt werden.

Ausblick

Erkenntnisse Entleerung 2019

Nach der Seeentleerung 2019 durch den künstlichen Eiskanal konnten folgende Erkenntnisse gemacht werden:

Der Eiskanal hat sich durch die Entleerung um bis zu 7.5 m abgesenkt. In einzelnen Berei-

chen haben sich grosse Kavernen gebildet. Dadurch kann eine Seeentleerung trotz Absenkung des Gletschersees auch im nächsten Jahr gewährleistet werden.

Im Eiskanal sind Gletschermühlen entstanden, die das Wasser ins subglaziale Entwässerungssystem abgeleitet haben. Der Eiskanal wurde daher nie ganz durchflossen. Innerhalb des Kanals bestehen unterschiedliche Abflussniveaus. Die Bedeutung unterschiedlicher Abflussknoten für die Folgejahre birgt neue Unsicherheiten.

Im Eiskanal abgelagerter Triebsschnee erschwerte den Abfluss, was lokal zu einem Wasserrückstau führte. Dieser Aspekt dürfte sich durch den Winter noch verstärken und ist ein wesentlicher Faktor für die Prognose der Entwicklung in den Folgejahren.

Eine Seeverlagerung hat aus bekannten Gründen nicht stattgefunden. Je nach Entwicklung ist eine solche in den Folgejahren durchaus möglich.

Unsicherheiten und Risiken künftiger Gletschersee-Entleerung

Auch heute bestehen bezüglich des künftigen Abflussverhaltens im Eiskanal nach wie vor Unsicherheiten und Risiken. Verklausungen im Kanal durch Triebsschnee, Böschungsinstabilitäten und Kaverneneinstürze oder Zufrieren des Mikrotunnels können im Frühsommer zu einem Rückstau und damit zu einem Seevolumen von deutlich über 1 Mio. m³ führen. Es ist aber durchaus möglich, dass durch den künstlichen Abfluss eine Seeverlagerung und -vergrösserung nach Westen stattfindet.

Aus heutiger Sicht wird das Worstcase-Szenario durch eine Verklausung des Eiskanals mit Triebsschnee gebildet, welche durch Rückstau die Entstehung eines maximalen Seevolumens zur Folge haben kann. Bricht der Gletschersee wie in den Jahren zuvor subglazial aus, können Abflussspitzen von 2018 oder grösser entstehen. Eine sorgfältige Beobachtung der

Schneeschnmelze im Frühjahr 2020 ist vorgesehen, Notmassnahmen sind auf konzeptioneller Basis geplant.

Konsequenzen künftiger Gletscherseeausbrüche auf Hochwasserschutz

Aufgrund den nach wie vor bestehenden Restrisiken und Unsicherheiten des langfristigen Funktionierens der künstlichen Seeentwässerung, müssen im Unterlauf allenfalls weiterführende Massnahmen realisiert werden. Bevor Massnahmen baulicher und raumplanerischer Art im Talboden geplant, dimensioniert und umgesetzt werden können, sind Grundlagen zu Abflüssen und Feststoffhaushalt sowie später allenfalls eine Revision der Gefahrenkarte notwendig:

Hydrologie: Überprüfen der hydrologischen Bedingungen der Simme und ihrer Zuflüsse. Insbesondere sind die verbleibenden Abflüsse von möglichen Seeausbrüchen in die Hydrologie miteinzubeziehen. Für das Management von Überflutungsflächen sind nicht nur die Abflussspitzen von Bedeutung, sondern auch die Abflussvolumen.

Feststoff: Überprüfen der Feststoffszenarien. Die grossen Kubaturen von Feinsedimenten (Sand, Feinkies) wurden im Rahmen der LLE nicht berücksichtigt.

Abflusskapazitäten: Die Abflusskapazitäten der Simme sind nach dem Abschluss der Sofortmassnahmen auf der gesamten Länge festzulegen.

Retentionsflächen: Bestimmen der Retentionskapazitäten der Überflutungsflächen bei unterschiedlichen Szenarien und Ganglinien.

Gefahrenkarte: Eine Revision der Gefahrenkarte ist im Falle von veränderten hydrologischen Szenarien und Feststoffverhältnissen zu prüfen.

Die Erarbeitung eines Wasserbauplans kann nach dem Vorliegen der Grundlagen und der Gefahrenkarte an die Hand genommen werden. Die Grundlagen werden aufzeigen, wo

Handlungsbedarf ist und mit welchen Massnahmen allfällige Schutzdefizite reduziert werden können.

Fazit

Der Gletscherseeausbruch 2018 führte zu einem hydromorphologischen Systemwechsel in den unterliegenden Gerinnen. Das plötzlich veränderte Feststoff- und Geschiebeverhalten im Ober- und Unterlauf brachte das System in kurzer Zeit an seine Grenze. Gemäss glaziologischen Prognosen ist künftig zunehmend mit Gletscherseeausbrüchen in der Grössenordnung von 2018 zu rechnen. Diese Herausforderung konnte nur dank der Reduktion des Gletscherseevolumens bewerkstelligt werden. Der Bau eines Eiskanals war die einzig mögliche, sinnvolle und wirtschaftliche Lösung.

Der Umgang mit klimabedingten Gefahren und Szenarien verlangt ein pragmatisches, schnelles und lösungsorientiertes Vorgehen und fordert innovative Lösungen und Methoden. Dazu gehören auch der mutige Transfer von Lösungsansätzen aus anderen Branchen, der Einsatz von neuen Technologien und ein hohes Mass an Flexibilität.

Das heute verbleibende Risiko für ein grosses Gletscherhochwasser kann mit gutem Gewissen der Restgefährdung zugeordnet werden. Grosse Hochwasserabflüsse sind künftig nur noch bei einer Verklausung des Eiskanals oder beim Zufrieren des Mikrotunnels zu erwarten. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Fachspezialisten und Planern sowie Behördenvertretern aller Ebenen hat dank einer ganzheitlichen Systembetrachtung zu einer raschen und zielgerichteten Lösungsfindung beigetragen.

Virtueller Rundgang - Besichtigung des Eiskanals auf dem Gletscher



Umsetzung Klimaszenarien in der Praxis

Unterschiedliche Ansätze und Flughöhen mit einem Blick über die Grenze

Catherine Berger ¹(catherine.berger@geo7.ch)

¹ geo7 AG, Bern

Introduction

Le climat est en train de changer sensiblement, ce qui affecte également les processus liés aux dangers naturels. Dans la gestion des dangers naturels, cette circonstance doit être prise en compte et les scénarios climatiques doivent être mis en œuvre de manière ciblée dans la pratique. Les deux exemples suivants montrent comment procéder à l'évaluation des dangers et à la conception des mesures de protection. Les investigations à Fellbach (commune de Saas-Balen, Valais) ont été menées dans le cadre de l'évaluation des dangers liés au processus de l'eau (geo7, 2017). Sur la base du Reichenbach, nous jetons un coup d'œil au-delà de la frontière dans l'Allgäu (geo7 / HOLINGER / GeoAlp, 2019).

Einleitung

Das Klima verändert sich merkbar und dies wirkt sich auch auf Naturgefahrenprozesse aus. Im Umgang mit Naturgefahren ist diesem Umstand Rechnung zu tragen und die Klimaszenarien sollten in der Praxis zielführend umgesetzt werden. Im Folgenden wird anhand von zwei Beispielen aufgezeigt, wie in der Gefahrenbeurteilung und bei der Konzeption von Schutzmassnahmen vorgegangen werden kann. Die Abklärungen beim Fellbach (Gemeinde Saas-Balen, Wallis) erfolgten im Rahmen der Gefahrenbeurteilung für den Prozess Wasser (geo7, 2017). Anhand des Reichenbachs werfen wir einen Blick über die Grenze ins Allgäu (geo7 / HOLINGER / GeoAlp, 2019).

Fellbach, Saas-Balen VS

Einzugsgebiet

Das Einzugsgebiet des Fellbachs (Gemeinde Saas-Balen, Kanton Wallis) mit einer Fläche von ca. 8.8 km² erstreckt sich vom Kegelhalbs (1'540 m ü. M.) bis zum Fletschhorn (3'982 m ü. M.). Der Bereich oberhalb des Fellsees auf 2'768 m ü. M. umfasst den Periglazial- und Glazialraum des Einzugsgebietes. Steile Felswände, der Grubengletscher und grossflächige Lockermaterialvorkommen aus Moränenmaterial und Sturzschtthalden gehören zu den prägenden Landschaftselementen. Periglaziale Formen wie Blockgletscher und proglaziale Seen ergänzen den vielfältigen Formenschatz (Abbildung 1).

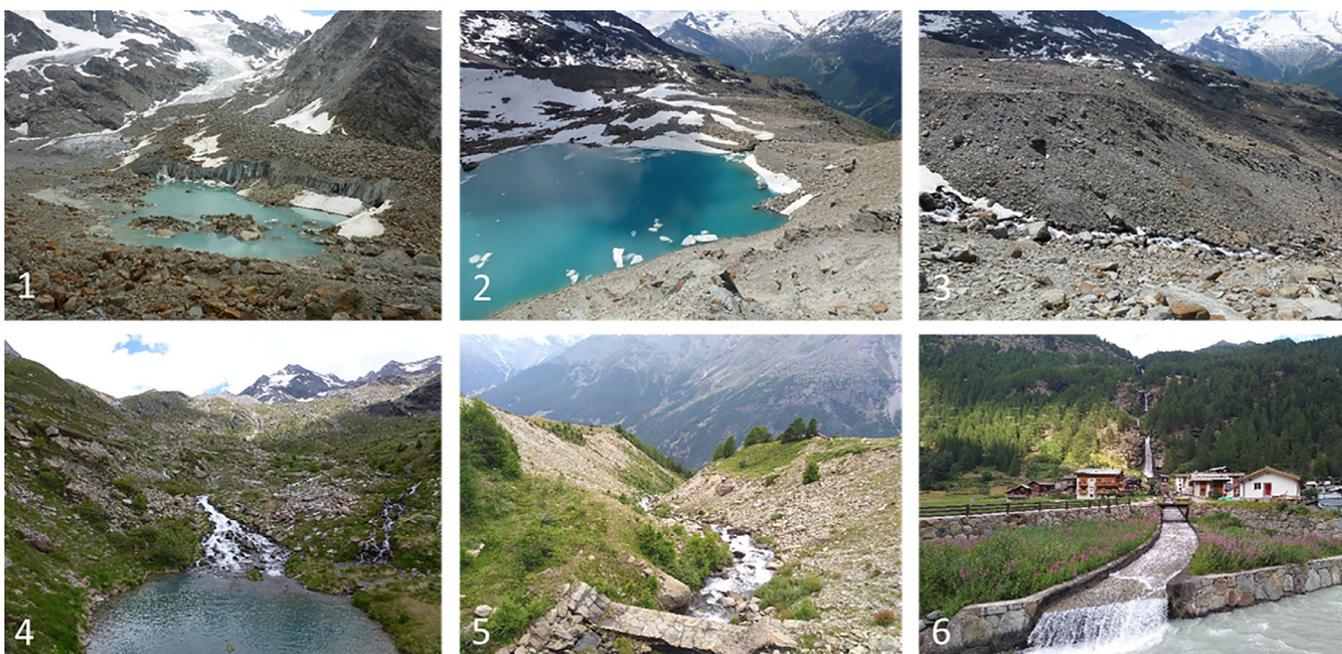


Abbildung 1: Impressionen Fellbach: Grubengletscher mit proglazialen See (1), Fellsee (2) und Bastionsmoräne (3). Moränen- und Bachschuttablagerungen mit Felsaufschlüssen (4), eingeschnittene Hänge (5) und Blick von der Mündung in die Saaservispa in Richtung Fellbachfälle oberhalb des Dorfes (6). Bilder: geo7 AG.

Unterhalb des Fellsees folgen zunächst mächtige spätglaziale Moränenablagerungen, welche teilweise durch Bach- und Murschuttkegel überlagert sind. Stellenweise tritt jedoch auch der anstehende Fels ans Tageslicht. Unterhalb ca. 2'100 m ü. M. ist das Gelände sehr steil und die Lockermaterialauflage ist geringmächtig. Am Fuss der Wasserfall-Kaskade tritt der Fellbach auf seinen Schwemmkegel und wird in einer gemauerten Bachschale durch das Dorf und in die Saaservispa geleitet. Ab Fellsee bis zur Mündung in die Saaservispa hat das Gerinne den Charakter eines Wildbaches und ist mit den angrenzenden Hängen gekoppelt.

Ereignis- und Prozessanalyse

Zahlreiche Wildbachereignisse wurden in den vergangenen Jahrhunderten dokumentiert und zeugen von der bewegten Geschichte des Fellbachs. Insbesondere historisches Kartenmaterial, Fotos und Luftbilder erlaubten eine detaillierte Analyse der Ereignisse sowie der Veränderungen im Einzugsgebiet und auf dem Schwemmkegel. Von den 14 dokumentierten Ereignissen stehen rund zehn in einem engen Zusammenhang mit dem Gletscher. Bei den übrigen Ereignissen initiierten Rutschungen oder eine Schneewächte beim Fellsee

Murgang- und Geschiebetransportprozesse. Im Laufe der Zeit haben sich entscheidende Rahmenbedingungen wie z.B. die Gletscherbedeckung jedoch massgeblich verändert. Daher darf aus der Ereignisanalyse bzw. aus der Vergangenheit nicht direkt auf den heutigen oder einen künftigen Zustand geschlossen werden.

Aufgrund der Vielzahl von Prozessen und hohen Dynamik ist die Ausgangslage für die weitere Gefahrenanalyse vielschichtig und insbesondere sind Prozessketten und -interaktionen zu berücksichtigen. Für die Analyse des komplexen Einzugsgebietes wurden die unterschiedlichen Prozesse und deren Abhängigkeiten systemisch aufgezeichnet (Abbildung 2). Darauf basierend konnten die massgebenden Prozesse und Prozessketten identifiziert und quantifiziert werden. Diese Überlegungen flossen in die Ableitung der Grundszenarien sowie der berücksichtigten Ereignisabläufe mit ein. Murgangmodellierungen unterstützen die gutachterlichen Abschätzungen im Rahmen der Schwachstellen- und Wirkungsanalyse.

Künftige Entwicklung

Die künftige Entwicklung wurde bei den massgebenden Prozessen für zwei Zeitstände (ca. 2035 und 2060) untersucht. Im Falle des Fellbachs sind primär Klima, Gletscher und Permafrost von Bedeutung. Für die Abschätzung der künftigen Tendenzen von Temperatur und Niederschlag wurden die offiziellen Klimaszenarien CH2011 bestehend aus einem Ensemble mit 10 verschiedenen Modellketten verwendet. Dabei wurde in Bezug auf die Referenzperiode 1995 – 2009 abgeklärt, wie sich die (positiven) Extremwerte für Niederschlag und Temperatur verändern könnten. Weiter wurden neuere Auswertungen beigezogen, welche bessere und quantitative Aussagen in Bezug auf Extremereignisse und saisonale Veränderungen erlauben (Rajczak et al. 2013). Diese Erkenntnisse wurden auch auf die mögliche Entwicklung des Permafrosts übertragen. Für die Gletscherbedeckung ab 1990 bis ca. 2100 wurde die Studie von Linsbauer et al. (2013) beigezogen und das Vorkommen neuer Gletscherseen berücksichtigt (NFP 61, 2013).

Basierend auf diesen detaillierten Analysen konnten Aussagen in Bezug auf Temperatur und Niederschlag / Gletscher / Permafrost und Massenbewegungen gemacht werden.

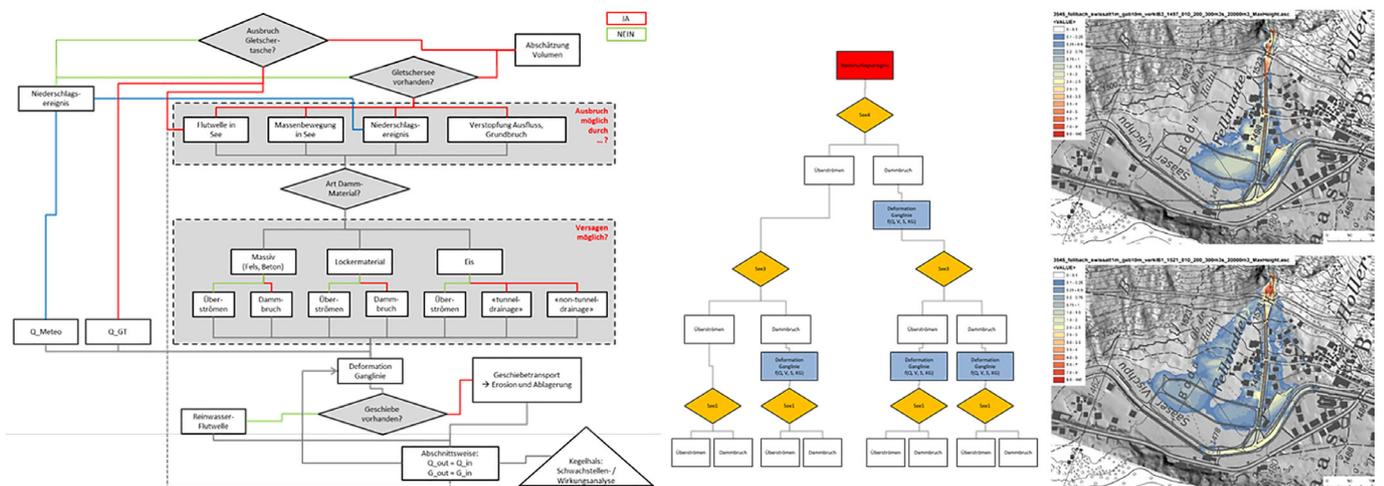


Abbildung 2: Von der Systemanalyse (links) zu den massgebenden Prozessen (Mitte) zu den Murgangmodellierungen (rechts) als Basis für die Wirkungsanalyse. Abbildungen entnommen aus geo7, 2017.

Bis zum betrachteten Zeitstand 2060 ist von einem Temperaturanstieg auszugehen und die Schneefallgrenze steigt an. Intensivere Niederschläge nehmen im Herbst um 10 – 15 % zu, im Frühling bleiben sie gleich. Aufgrund des Gletscherrückzuges ist zu erwarten, dass Ereignisabläufe im Zusammenhang mit Gletschertaschen bis Ende des Jahrhunderts eine immer kleinere Rolle spielen werden. Bei Permafrost-beeinflussten Prozessen kann die Übergangsphase zwischen dem gefrorenen und aufgetauten Zustand als kritisch erachtet werden und Instabilitäten können während dieser Zeit öfter und in grösserem Ausmass auftreten.

Diese unterschiedlichen Aspekte wurden auf die Ereignisabläufe der Ist-Situation übertragen und es wurde qualitativ angegeben, welche Tendenzen sich daraus in der Zukunft für die betrachteten Zeitstände ergeben könnten (Abbildung 3). Ziel ist, dass wie beim Ausgangszustand die massgebenden Prozesse und Verkettungen gebietsspezifisch und strukturiert analysiert und nachvollziehbar abgebildet werden. Daraus wird ersichtlich, wo in Zukunft eher von einer Verschärfung, Status Quo oder Entspannung auszugehen ist. Diese Überlegungen dienen als weitere Grundlage für den risikobasierten Umgang mit Naturgefahren.

Reichenbach im Allgäu, (D)

Einzugsgebiet

Der Reichenbach liegt in der Gemeinde Rettenberg im Landkreis Oberallgäu des Bundeslandes Bayern. Das Einzugsgebiet mit einer Fläche von 4.6 km² reicht bis auf ca. 1'320 m ü. M. und weist vorwiegend Mähwiesen, Viehweiden und Waldgebiete auf (Abbildung 4). Die beiden Teileinzugsgebiete vereinen sich vor dem Schwemmkegel und im Anschluss durchfließt der Reichenbach den Ortsteil Reichen in einer Bachschale und mündet in den Kranzeg-

ger Bach. An der Oberfläche sind vorwiegend Lockergesteine vorzufinden, die Hauptarme sind relativ stark ins Gelände eingeschnitten. Im zentralen Bereich des Einzugsgebietes liegen mehrere aktive und inaktive Rutschgebiete und viel Totholz befindet sich im Gerinne oder in unmittelbarer Nähe. Heute ist der Reichenbach sowohl im Einzugsgebiet als auch im Unterlauf wildbachtechnisch relativ stark verbaut. Bei der Mehrzahl der Schutzbauten im Einzugsgebiet handelt es sich um Sperren aus geschichteten Blöcken ohne Verbund (Berger et al., 2019).

Integrale Wildbachentwicklungskonzepte

Im Auftrag des Wasserwirtschaftsamtes Kempten sowie des Bayerischen Landesam-

tes für Umwelt erarbeitete die Arbeitsgemeinschaft geo7 AG – HOLINGER AG – GeoAlp ein Integrales Wildbachentwicklungskonzept (IWEK) für den Reichenbach. Integrale Wildbachentwicklungskonzepte sind Schutzkonzepte für Wildbacheinzugsgebiete, welche auf der integralen Betrachtung vergangener und zukünftiger Veränderungen in einem Wildbacheinzugsgebiet basieren. Im Zentrum steht insbesondere der Umgang mit alternden Schutzbauten und welche Massnahmen es braucht, damit wir in Zukunft auf ein flexibles und optimal ineinandergreifendes Schutzsystem vertrauen können.

Systemanalyse gestern – heute – morgen

In der Systemanalyse wurde für unterschied-



Abbildung 3: Gebietsspezifische, strukturierte und nachvollziehbare Analyse (links) als Grundlage für die Betrachtung der künftigen Entwicklung der massgebenden Aspekte im Falle des Fellbachs (Mitte) und Übertragung auf Ereignisabläufe und Tendenzen (rechts). Abbildung: geo7 AG.

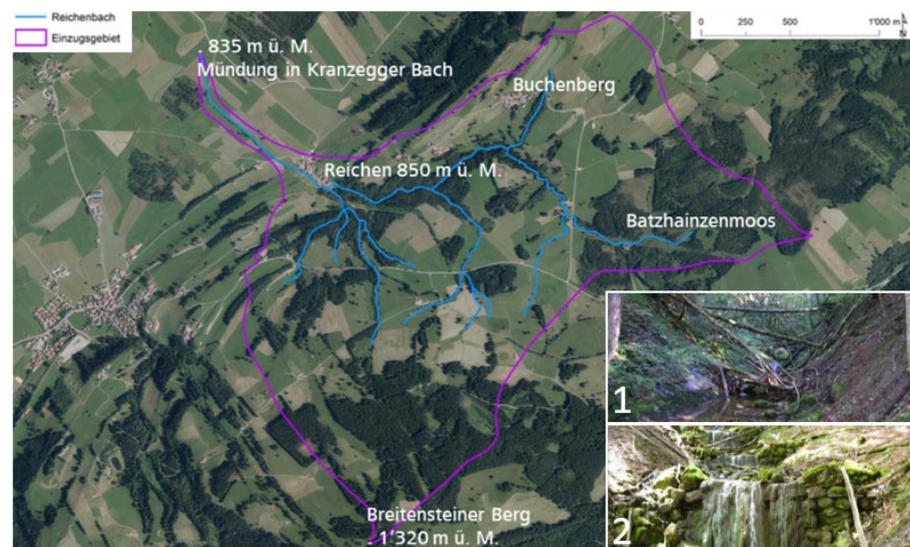


Abbildung 4: Übersicht Einzugsgebiet Reichenbach mit Impressionen zu Totholz im Gerinne (1) und bestehende Wildbachsperrungen (2). Quellenangaben: Orthofoto, Landesamt für Umwelt LfU, 2015 / Fotos (1) / (2) Wasserwirtschaftsamt Kempten, 2018.

liche Komponenten des Landschaftssystems die Entwicklung über die Zeit betrachtet. Das Leitbild umschreibt den Soll-Zustand, von welchem im Vergleich zum Ist-Zustand die Handlungsschwerpunkte abgeleitet werden. Im Variantenstudium werden unterschiedliche Massnahmen systematisch untersucht und die Optimalvariante wird identifiziert und näher beschrieben. Zu Systemanalyse und Variantenstudium wurden generelle Konzepte erarbeitet, welche ein strukturiertes und transparentes Vorgehen ins Zentrum stellen. Bei der Anwendung am Reichenbach zeigte sich klar, dass individuelle Lösungen unbedingt notwendig sind und nicht a priori von einem Auflassen oder einem Erhalten alter Bauwerke ausgegangen werden darf. Nähere Angaben zum Projekt IWEK Reichenbach können dem Artikel Berger et al. (2019) entnommen werden.

Fazit

Die beiden Anwendungsfälle zeigen, dass gebietsspezifische Abklärungen nötig sind und Aussagen in Bezug auf den Klimawandel sowie weitere Entwicklungen im Einzugsgebiet und Wirkungsbereich von Naturgefahrenprozessen machbar waren. Aufgrund der Unsicherheiten und vielschichtigen Prozesse und Interaktionen bewährte sich ein strukturiertes und nachvollziehbares Vorgehen (Abbildung 5). Dieses konnte mit Hilfe der Systemanalyse abgebildet werden. Leitbilder können als Wegweiser für die künftige Entwicklung dienen und berücksichtigen im Sinne eines integralen Umganges neben dem Schutz vor Naturgefahren weitere wichtige Aspekte wie Wirtschaft / Kosten, Gesellschaft sowie Natur / Ökologie. Bauliche Schutzmassnahmen sollten sich an der Maxime robust – flexibel – überlastbar orientieren. Ziel ist, dass im Gesamtverbund alle Massnahmenarten wie bei einem Puzzle schlüssig ineinandergreifen.

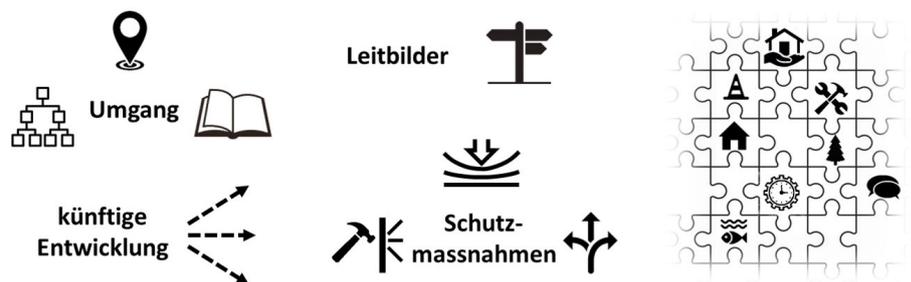


Abbildung 5: Ein gebietsspezifischer, strukturierter und nachvollziehbarer Umgang (mit Klimaszenarien) als Basis zur Abklärung der künftigen Entwicklung. Leitbilder geben die Richtung an, bauliche Schutzmassnahmen sollten robust, flexibel und überlastbar sein. Im Massnahmenverbund resultiert ein schlüssiges Puzzle. Abbildung: geo7 AG.

Literatur

Berger, C., Ritler, S., Schneider, M., Nellen, F. & Peters-Walker D. (2019). Integrales Wildbachentwicklungskonzept: von der Systemanalyse zum Variantenstudium. *Ingenieurbiologie* 4/19.

geo7 AG (2017). Gefahrenbeurteilung Fellbach, Prozess Wasser. In Zusammenarbeit mit dem Büro für beratende & angewandte Glaziologie. Gemeinde Saas-Balen.

geo7 AG, HOLINGER AG & GeoAlp (2019). Integrales Wildbachentwicklungskonzept Reichenbach, Gemeinde Rettenberg, Praxisstudie.

Linsbauer, A., Paul, F., Machguth, H. & Haeberli, W. (2013). Comparing three different methods to model scenarios of future glacier change for the entire Swiss Alps. *Annals of Glaciology*, 54 (63): 241 – 253.

NFP 61 (2013). Nationales Forschungsprogramm „Nachhaltige Wassernutzung“, Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken. Hrsg.: Haeberli, W., Bütler, M., Huggel, C., Müller, H. & Schleiss, A.

Rajczak, J., Pall, P., Schär, C. (2013). Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine Region. *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 118, 3610-3626, doi: 10.1002/jgrd.50297.

Analyse de risque pour les services de secours : Une aide pour la priorisation des interventions

Iacopo Aiolfi¹ (iacopo.aiolfi@ecoeng.ch)
 Federico Ferrario¹ (federico.ferrario@ecoeng.ch)
 Marc Choffet² (marc.choffet@eca-vaud.ch)

¹ EcoEng SA, Chailly-sur-Montreux

² Etablissement d'assurance contre l'incendie et les éléments naturels (VD), Division prévention, Pully

Zusammenfassung

Ein Naturereignis im Siedlungsgebiet ist aufgrund seiner Ausdehnung oft schwierig zu managen und den Einsatzkräften fehlen zuweilen die nötigen Informationen um die Gefahrensituation bzw. die Einsatzprioritäten richtig einzuschätzen. Bei Hochwasserereignissen oder grossflächigem Oberflächenabfluss ist es daher unverzichtbar gezielt zu intervenieren, um Einsatzkräfte und Material optimal einzusetzen.

Es wurde eine Methode entwickelt, um das Schadenpotential für jedes Gebäude einzeln zu berechnen. Dadurch wird ein wichtiger Beitrag bei der Definition von Prioritäten geleistet. Die Verbindung der automatisierten Umsetzung der Risikoformeln mit den räumlichen Daten hat es ermöglicht, die Risiko Hotspots auf kantonaler Ebene zu bestimmen. Dabei wurden einzig die Exposition bezüglich Hochwasser- und Oberflächenabflussgefahr berücksichtigt.

Résumé

Un événement naturel dans le milieu bâti est souvent difficile à gérer en raison de son étendue, et les services d'interventions sont parfois dépourvus d'aides à la décision spécifiques. Lors des épisodes de crue et de ruissellement de large échelle, il est donc indispensable de pouvoir cibler l'intervention et optimiser la gestion des ressources.

Une méthodologie a été proposée afin de calculer le potentiel de dégât pour chaque bâtiment, fournissant ainsi une aide importante dans la définition des priorités d'intervention.

L'automatisation de l'application des formules du risque couplée avec l'information spatiale des données, ont permis de définir les hotspots de risque sur la totalité du territoire cantonal. Seule l'exposition aux aléas de crue et de ruissellement a été considérée.

Introduction

Les inondations qui ont touché la ville de Lausanne en Juin 2018 ont clairement mis en évidence l'ampleur et l'étendue spatiale auxquelles les services d'intervention peuvent être confrontés. L'intensité de l'évènement du 11 Juin 2018 a contraint le SPSL (Service de protection et sauvetage de la Ville de Lausanne) à une longue nuit d'interventions avec la gestion d'un évènement qui est allé crescendo. Souvent, pendant les épisodes extrêmes, les ressources à disposition ne permettent pas de protéger la totalité des objets et des personnes exposées au danger. Il est donc indispensable d'avoir à disposition des outils d'aide à la décision qui permettent de prioriser des actions, fournissant des informations généralement inaccessibles.

Afin de faire face à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des éléments naturels, l'établissement d'assurance du Canton de Vaud (ECA VD) a décidé d'élaborer une stratégie globale basée sur la connaissance approfondie du portefeuille des objets assurés.

La définition des dommages potentiels auxquels les objets sont exposés fait partie intégrante de cette stratégie. Ces informations se révèlent très utiles pendant les opérations sur le terrain, ainsi que pour l'optimisation et

le suivi des ressources et des campagnes de prévention.

Cet article se concentre sur les éléments considérés dans la définition des dommages potentiels aux bâtiments et l'atteinte aux personnes.

Le résultat de l'étude se présente sous forme de niveau de dommage. Cette solution permet d'évaluer facilement et rapidement la sensibilité de chaque objet.

Approche

Le calcul de l'indice se base sur la définition classique du risque, qui est donnée par le produit de la vulnérabilité et du danger.

Risque = Danger x Vulnérabilité

Afin de considérer toutes les implications potentielles d'un phénomène naturel, les aspects économiques, humains et environnementaux ont été considérés.

Pour ce faire, les formules utilisées par le logiciel de la Confédération EconoME ont été utilisées comme base de travail. La méthode développée repose sur la définition du risque propre à chaque immeuble du canton Grâce à l'application des outils de géotraitement du SIG (QGIS), et au géoréférencement des variables principales, il a été possible d'exploiter leurs composantes spatiales, notamment pour la définition de l'exposition à l'aléa et la cartographie des hotspots.

Variables

Les variables utilisées permettent d'évaluer l'impact d'un évènement sur la valeur économique d'un objet, mais aussi sur les personnes qui y vivent ou l'exploitent.

Les cartes des intensités de crues et celle de l'aléa de ruissellement représentent les outils principaux pour la définition de l'exposition à ces deux phénomènes. L'intensité de la crue et respectivement la profondeur d'eau du ruissellement, permettent de calibrer la vulnérabilité à laquelle un objet est exposé. Cette dernière est étroitement liée à l'utilisation du bâtiment, et donc à sa typologie (maison individuelle, industrie, EMS, etc.). Cela vaut aussi pour la définition de la létalité pour ses occupants. En effet, on peut facilement imaginer qu'une inondation dynamique soit plus problématique, au niveau de la mise en danger des vies humaines, si elle touche un EMS plutôt qu'une maison individuelle.

La disponibilité des informations concernant les sinistres ayant eu lieu dans le passé a permis, là où nécessaire, d'affecter la vulnérabilité théorique.

Une fois la vulnérabilité et la létalité auxquelles les bâtiments sont exposés définies, il est nécessaire de définir la valeur à laquelle cette vulnérabilité doit être appliquée. Cela, soit au niveau économique, soit au niveau humain.

Les données produites par l'office fédéral de la statistique permettent d'estimer, avec une certaine précision, la présence des personnes dans le bâtiment et donc l'exposition à l'aléa. L'estimation de l'impact sur la valeur économique de l'immeuble a, elle, été définie sur la base de la valeur assurée de l'ECA.

La composante environnementale est la plus difficile à évaluer. A l'état actuel, seuls les sites sujets à l'ordonnance de la protection contre les accidents majeurs (OPAM) ont été intégrés dans l'analyse. En effet, l'impact d'une inondation de ces sites sur la santé humaine et l'environnement peut être très important. Afin d'intégrer la valeur culturelle, les objets architecturaux ont également été considérés dans l'analyse.

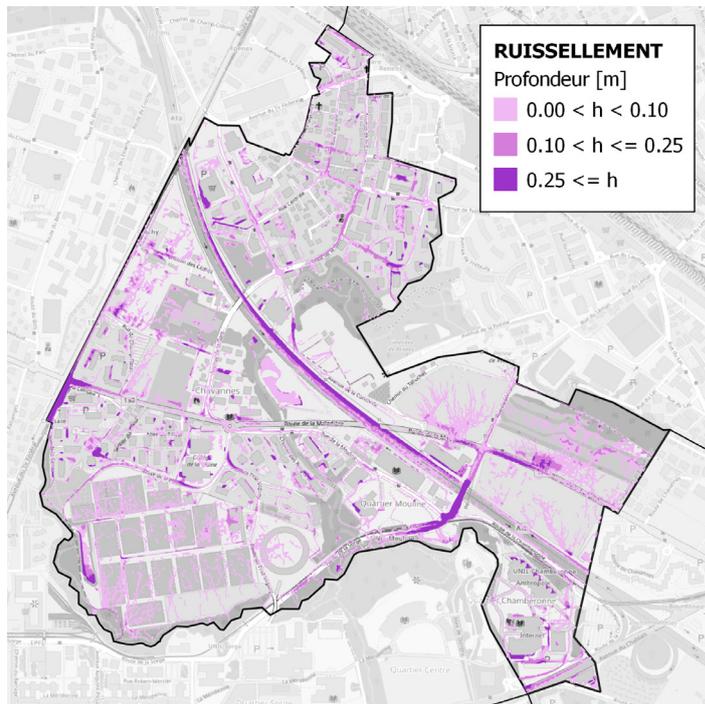


Figure 1: Aléa de ruissellement, Chavannes-près-Renens (Source données : Aléa ruissellement, OFEV, AECA et ASA ; fond de carte : OpenStreetMap).

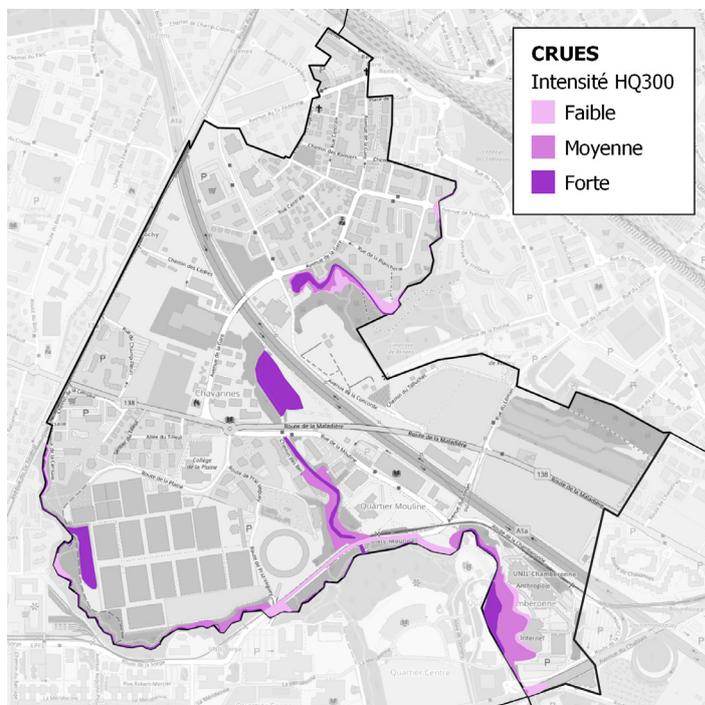


Figure 2: Intensité de la crue HQ300, Chavannes-près-Renens (Source données : Etat de Vaud ; fond de carte : OpenStreetMap).

Résultats

En analysant les données de distribution des aléas, la disparité de l'étendue spatiale est marquée (cf. Figure 1 et 2).

La surface touchée par l'aléa de ruissellement est nettement plus importante que celle concernée par le danger de crue de fréquence rare. Ceci est valable pour la totalité du canton. L'influence des crues sur la globalité des dommages liés à l'eau est donc relativement faible.

A une échelle régionale, le résultat peut paraître être celui escompté (cf. Figure 3), un focus sur les localités nous montre cependant des tendances intéressantes (cf. Figure 4), en particulier en ce qui concerne la gestion de l'intervention sur le terrain. En effet, il est possible de localiser clairement les quartiers les plus sensibles. Également, à une échelle encore plus fine, les résultats permettent de définir les bâtiments prioritaires à l'aide de l'indice numérique.

A l'échelle du canton, étant donné que l'étendue spatiale du phénomène de ruissel-

lement est uniforme sur la totalité du canton, il en résulte que la valeur des immeubles et la densité de la population/emplois représentent les variables les plus significatives dans la définition des dommages potentiels.

Si on analyse les résultats à l'échelle du canton (Figure 3), il n'est donc pas étonnant que les plus grands dommages potentiels soient concentrés le long de l'axe Lausanne - Renens. Les principales autres villes, telles que Nyon, Montreux, Vevey et Yverdon-les-Bains apparaissent en tant que hot-spots secondaires. Ces résultats nous fournissent une vue d'ensemble de la situation à l'échelle cantonale.

Conclusion

Le résultat de ces manipulations repose sur des données théoriques et une simplification de la réalité est indispensable. L'évaluation de la situation de danger sur place demeure donc une composante essentielle et irremplaçable au bon déroulement des interventions. Cependant, ces indices représentent un aide à

la décision importante, permettant une vision d'ensemble du secteur et la mise en évidence rapide des points sensibles.

Cet outil représente aussi une aide importante à l'élaboration et au suivi des campagnes de prévention.

La qualité des données de base est capitale pour une meilleure capacité d'analyse, des données complètes et détaillées permettant de limiter les approximations qui réduisent la fiabilité des résultats.

Cette analyse s'est concentrée sur les dangers de crue et de ruissellement, il est possible cependant d'appliquer les mêmes principes à d'autres typologies de danger. Une telle étude est actuellement en cours.

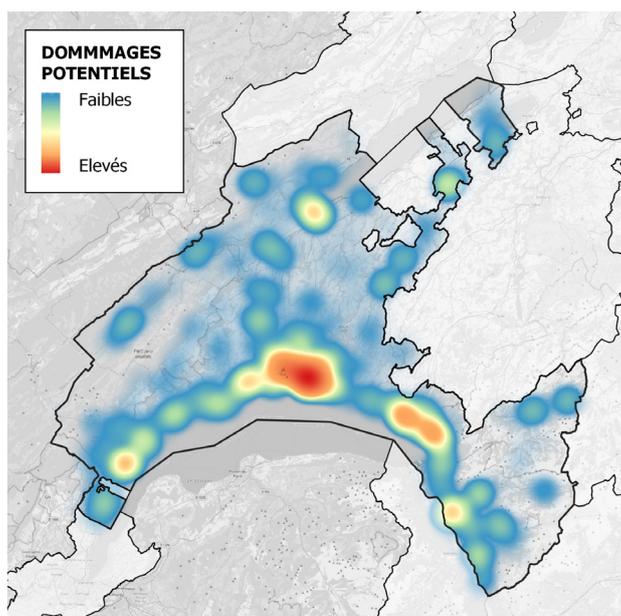


Figure 3: Dommages potentiels (résultats), Canton de Vaud (Fond de carte : OpenStreetMap).

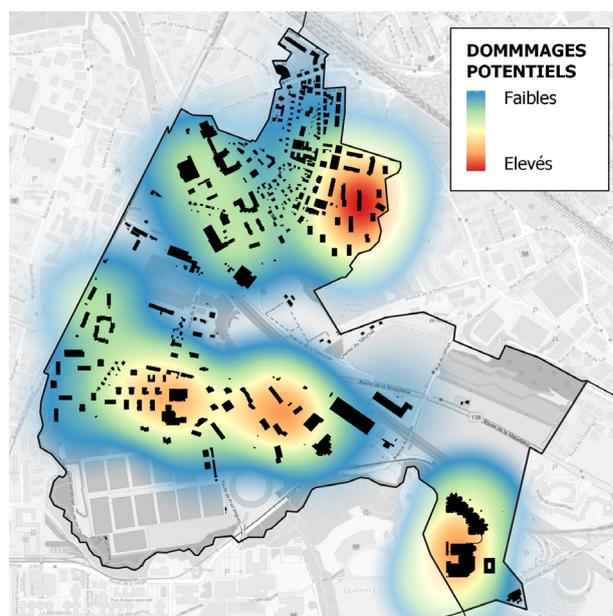


Figure 4: Dommages potentiels (résultats), Chavannes-près-Renens (Fond de carte : OpenStreetMap).

Spannungsfeld der Entscheidungen



FAN-Herbstkurs 2020 / Cours d'automne de la FAN 2020 / Corso autunnale della FAN 2020

Datum /Date /Data: 5. & 6. November 2020

Ort /Lieu /Luogo: Seminarzentrum, Hitzkirch LU

Spannungsfeld der Entscheidungen - Sources de conflits dans la prise de décisions - Conflitti decisionali

Tagtäglich treffen wir im Arbeitsumfeld Entscheidungen von relevanter Bedeutung. Oft sind diese mit Unsicherheiten verbunden: wie lassen sich Unsicherheiten verringern, wann und wie sind sie zu kommunizieren, wie komme ich trotzdem zu guten Entscheidungen, was ist richtig - was ist falsch. Der diesjährige FAN-Herbstkurs befasst sich mit dem Spannungsfeld von Entscheidfällung - Unsicherheit - Qualitätsbeurteilung. Dabei sollen Strategien im Umgang mit Unsicherheiten, wie auch für die Entscheidfällung aufgezeigt und erlebt werden.

Nous sommes chaque jour amenés à faire des choix d'une importance capitale dans le cadre de notre travail. L'incertitude fait cependant partie intégrante de chacune de nos décisions : se pose donc la question de savoir comment réduire celles-ci, quand et comment les communiquer, comment faire les bons choix, qu'est ce qui est bien, qu'est ce qui est mal, etc. Cette année, le cours d'automne de la FAN se penchera sur les conflits entre la prise de décision, l'incertitude et l'évaluation de la qualité. Des stratégies pour y faire face y seront présentées et pourront y être testées.

In ambito professionale siamo confrontati quotidianamente a decisioni di elevata importanza e spesso quest'ultime sono legate ad incertezze. Come si possono ridurre queste incertezze? Quando e come sono da comunicare? Come posso arrivare in ogni caso ad una buona decisione? Cos'è giusto e cos'è sbagliato? Il corso autunnale della FAN si occupa di conflitti decisionali, incertezze e valutazioni qualitative. Delle strategie di gestione delle incertezze in qualità di aiuti decisionali saranno discusse e esercitate.

Zielpublikum / Publique cible / Pubblico

Angesprochen werden Fachleute aus der Praxis, Bund, Kantonen, Gemeinden, Versicherungen und Verbänden / *Le cours est destiné aux spécialistes des bureaux de conseil, de la confédération, des cantons, des communes, des compagnies d'assurances et des associations / Il corso si rivolge a specialisti di uffici di ingegneria, delle autorità pubbliche (confederazione, cantoni, comuni) e di enti assicurativi e associativi.*

Kursform / Forme du cours / Formato

Interaktive Ausstellung mit praktischen Übungen drinnen und draussen, Vorträgen und Vernetzung. / *Présentation interactive avec exercices pratiques en salle et sur le terrain, conférences et réseautage / Presentazioni interattive con esercizi pratici all'interno e all'esterno, discussioni e networking.*

Ausschreibung und Anmeldung folgen Anfang September unter www.fan-info.ch / *Annonce et inscriptions début septembre sous le lien www.fan-info.ch / Bando e iscrizione a partire da settembre su www.fan-info.ch*

Hochwasser – Wegleitung zur Norm SIA 261/1

4002

SIA 4002 Hochwasser – Weg- leitung zur SIA 261/1

Die neue Wegleitung dient als Hilfestellung für die Anwendung der Norm SIA 261/1:2020 Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen, Kapitel 3, Hochwasser, welche überarbeitet 2020 erscheinen soll. In der SIA 4002 werden Erläuterungen und Anwendungsbeispiele aufgeführt, um insbesondere den grossen Fächer an Schutzmassnahmen gegen Hochwasser (inklusive Oberflächenabfluss) am Objekt aufzuzeigen. Sie unterstützt bei der Auswahl, Planung und Bemessung von Massnahmen zum Hochwasserschutz am Objekt oder in dessen naher Umgebung. Die Zielgruppe der Publikation sind die mit der Fachplanung Hochwasserschutz betrauten Ingenieure und Planer.

Bestellen:

(64 Seiten, 90 CHF):

www.shop.sia.ch

Crués – Lignes directrices relatives à la norme SIA 261/1

4002

SIA 4002 Crués - Lignes directrices re- latives à la norme SIA 261/1

Les nouvelles lignes directrices ont valeur d'aide à l'application de la norme SIA 261/1:2020 Actions sur les structures porteuses – Spécifications complémentaires, chapitre 3, crués, en cours de révision et qui paraîtra courant 2020. Au travers d'exemples concrets et d'explications pratiques, elles décrivent notamment le large éventail de mesures de protection d'un objet contre les crués (y compris le ruissellement de surface). Elles guident le choix, la conception et le dimensionnement de mesures de protection contre les crués au niveau de l'objet ou à proximité immédiate. Cette publication est destinée aux ingénieurs et aux concepteurs chargés d'études de protection contre les crués.

Commander:

(64 pages, 90 CHF):

www.shop.sia.ch