

Umgang mit Gletscherhochwasser im Berner Oberland

Autor(en): **Hählen, Nils / Hitz, Oliver / Stoffel, Damian**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio**

Band (Jahr): **114 (2016)**

Heft 8

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-630647>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

Umgang mit Gletscherhochwasser im Berner Oberland

Gletscherhochwasser sind ein wichtiger Teil der Naturgefahren im Berner Oberland und dürften als Folgen des Klimawandels in Zukunft noch zunehmen. Für deren Risikoabschätzungen sind mindestens zwei Szenarien mit verschiedenen Ausprägungen (z. B. ein optimistisches und ein pessimistisches) hilfreich, um mit den Unsicherheiten umzugehen. Diese Szenarien können mit der Magnitude von niederschlagsverursachten Hochwassern verglichen werden, die in den Gefahrenkarten abgebildet sind. Dieser Schritt erlaubt eine Einordnung von Gletscherhochwasser im Vergleich zu «normalen» Hochwassern. Gletscher und ihre Disposition für gefährliche Prozesse verändern sich laufend. Deshalb ist eine periodische Kontrolle der aktuellen Situation wichtig und die Szenarien sind, wenn nötig, periodisch anzupassen. Für ein erfolgreiches Risikomanagement sind daher ein systematisches Monitoring der Gletscher und die Sensibilisierung der Sicherheitsverantwortlichen entscheidend.

Dans l'Oberland bernois les crues de glaciers représentent une partie importante des dangers naturels et risquent de s'amplifier à l'avenir en raison du changement climatique. Pour l'évaluation de ces risques deux scénarios avec des caractéristiques différentes sont utiles (p. ex. l'un optimiste et l'autre pessimiste) afin de pouvoir gérer les insécurités. Ces scénarios peuvent être comparés avec la magnitude de crues provoquées par des pluies intenses illustrées dans les cartes de dangers. Ce pas permet un classement d'une crue de glacier par rapport à une crue «normale». Les glaciers et leur tendance de processus dangereux changent continuellement. Par conséquent un contrôle périodique de la situation actuelle est important et au besoin les scénarios doivent être adaptés périodiquement. Un monitoring systématique des glaciers et une sensibilisation des responsables de la sécurité sont décisifs afin d'obtenir un management efficace des risques.

Le piene glaciali sono un elemento cruciale dei pericoli naturali incombenti sull'Oberland bernese e, a causa del cambiamento climatico, in futuro sono destinate ad aumentare. Per la valutazione dei rischi è quindi utile prevedere almeno due scenari con impatti diversi (p. es. uno ottimista e uno pessimista) per gestire le insicurezze. Questi scenari sono paragonabili alla magnitudo delle piene provocate dalle precipitazioni, piene che sono rappresentate sulle carte di pericoli. Questo approccio consente di classificare le piene glaciali allo stesso modo delle «normali» piene. I ghiacciai e la loro predisposizione a generare processi pericolosi sono in continua metamorfosi. Per questo motivo è fondamentale effettuare un controllo periodico della situazione e modificando, se necessario, gli scenari. Per una gestione dei rischi coronata da successo è determinante monitorare sistematicamente i ghiacciai e sensibilizzare i responsabili della sicurezza.

N. Hählen, O. Hitz, D. Stoffel

Rund 200 km² oder 7% der Fläche des Berner Oberlandes sind vergletschert. Schon immer haben Hochwasser aus

Vortrag im Rahmen der Interpraevent 2016 in Luzern

Gletschern im Berggebiet Siedlungen bedroht. Im Berner Oberland gelten die Ereignisse Grüöbengletscher Guttannen (1921, 1942), Steingletscher Gadmen (1956, 1998) und Unterer Grindelwaldgletscher (1951, 2008) als die grössten in den letzten 100 Jahren. Zu Beginn des 21. Jahrhunderts häuften sich solche Ereignisse als Folge des beschleunigten

Gletscherrückgangs durch die Klimaänderung. Die Herausforderung im Management von Gletscherhochwasser liegt in der frühzeitigen Erkennung kritischer Situationen, der Herleitung realistischer Szenarien und dem geeigneten Umgang mit Risiken, die zwar nur vorübergehend bestehen, aber oft ein immenses Gefahrenpotenzial beinhalten. Gletscher können verschiedene Gefahrenprozesse verursachen. Weil die Reichweite von Hochwasser sehr gross ist, sind Gletscherhochwasser die am weitesten reichenden Prozesse unter den Gletschergefahren (Raymond et al. 2003) und bilden somit ein erhebliches Gefahrenpotenzial. Auslöser von Gletscherhochwasser sind plötzliche Entleerungen von Wasseransammlungen am, auf oder in einem Gletscher. Bei Gletscherhochwasser ist zwischen supraglazialen Gletschersee- und subglazialen Wassertaschenausbrüchen zu unterscheiden. Oft sind Gletscherseeausbrüche die Folge einer Verkettung von Prozessen, so z. B. wenn grosse Massenbewegungen in Gletscherseen diese zum Überlaufen bringen. Weiterführende Informationen zu Gletscherhochwasser geben beispielsweise Raymond et al. (2003) oder Huggel et al. (2004). Vertiefte Informationen über die Hydraulik von Gletscherhochwasser sind in Worni et al. (2014) zu finden.

Gefahrenbeurteilung bei Gletscherhochwasser

Die Gefahrenbeurteilung besteht in der Festlegung von Szenarien sowie der Ausscheidung von Wirkungsräumen und dazugehörigen Prozessintensitäten. Ein pragmatisches Vorgehen für eine grobe Gefahrenbeurteilung bei Gletschern ist in Huggel et al. (2004) beschrieben. Diese Methode bewährt sich für eine erste, einfache Einschätzung. Falls danach eine relevante Gefährdung nicht ausgeschlossen werden kann, sind vertiefte Analysen nötig. Angaben zur Wahrscheinlichkeit von Ereignissen, zum Speichervolumen und zur Ausbruchsart mit dazugehöriger Ganglinie stellen die grossen Herausforderungen bei der Szenarienbildung für

Gletscherhochwasser dar. Die verschiedenen Einflussfaktoren auf Szenarien und Prozessablauf sind in Abbildung 1 dargestellt und qualitativ nach ihrem Grad an Unsicherheit klassiert. Die Einteilung in die drei Kategorien erfolgt aufgrund des Kriteriums Qualität der Wissens- resp. Datenbasis und des Kriteriums der Subjektivität der nötigen Beurteilung. Unterliegen beide Kriterien einem grossen Streubereich, wird die Unsicherheit als gross, wenn nur eines einen grossen Streubereich hat, als mittel und wenn beide einen kleinen Streubereich haben als klein klassiert. Bei der Gefahrenbeurteilung ist auf die Faktoren mit grossen Unsicherheiten besonderes Augenmerk zu richten.

Häufig wiederholen sich Gefahrenprozesse an einem Gletscher. Informationen zu früheren Ereignissen sind daher sehr hilfreich. Liegen keine Informationen zu früheren Ereignissen vor oder hat sich die Situation seit den letzten Ereignissen relevant verändert, sind längerfristige Prognosen mit grossen Unsicherheiten verbunden. Dann muss auf Analysen, Annahmen und Analogieschlüsse zu ähnlichen Fällen abgestützt werden. Die Unsicherheiten sind entsprechend gross; oft bedeutend grösser als bei anderen Prozessarten. Weil Gefahrenbeurteilungen bei Gletscherhochwasser meist erst gemacht werden, wenn eine Gefahrenquelle neu entsteht, ist die Wahrscheinlichkeit gross, dass sie in kurzer Zeit anhand tatsächlicher Ereignisse überprüft werden kann – Chance für die Experten, ihre Überlegungen zu verifizieren, aber auch Fluch, weil Abweichungen Erklärungsbedarf gegenüber der Bevölkerung und Behörden nötig machen und die Glaubwürdigkeit der Experten leiden kann. Die grössten Unsicherheiten in der Gefahrenbeurteilung von Gletscherhochwasser liegen in der Festlegung der Szenarien. Die aus den Szenarien abgeleitete Wirkungsbeurteilung beinhaltet bedeutend weniger Unsicherheiten, weil es für die Ausbreitung der Prozesse heute gute Modellierungssoftware gibt. Auch die dazu notwendigen Höhenmodelle liegen in der Schweiz in hoher Genauigkeit vor.



Abb. 1: Phasen in der Gefahrenbeurteilung und im Risikomanagement von Gletschergefahren mit dazugehörigen Teilschritten und Klassierung der Unsicherheit.

Um die Unsicherheiten in der Szenariobildung zu reduzieren, hat es sich bewährt, eine Bandbreite an möglichen Szenarien festzulegen, was am Giesengletscher an der Nordwestflanke der Jungfrau exemplarisch gezeigt werden soll. An diesem hat sich seit 2011 an der Gletscherzunge ein Eispaket abgespalten. Bei einem Abbruch ist davon auszugehen, dass die Eistrümmer in der darunterliegenden Schlucht eine Wasserstauung verursachen. Je nach Ausbildung der Ablagerung sind im Falle eines nachfolgenden Seedurchbruchs unterschiedliche Abflussspitzen möglich. Ein realistisches Szenario mit 100 000 m³ Wasser würde

eine Abflussspitze von 80–130 m³/s verursachen, im pessimistischen Szenario ist bei 400 000 m³ Wasser mit einer Abflussspitze von 350–440 m³/s zu rechnen.

Risikobeurteilung von Gletscherhochwasser

Das Gefahrenpotenzial von Gletschern ändert sich über die Zeit, womit Gletscherhochwasser nicht immer gleich wahrscheinlich sind. Dies unterscheidet Gletscher von anderen Gefahrenquellen, deren Grunddisposition über längere Zeiträume keiner relevanten Veränderung unterworfen ist. Diese Variation hat vor

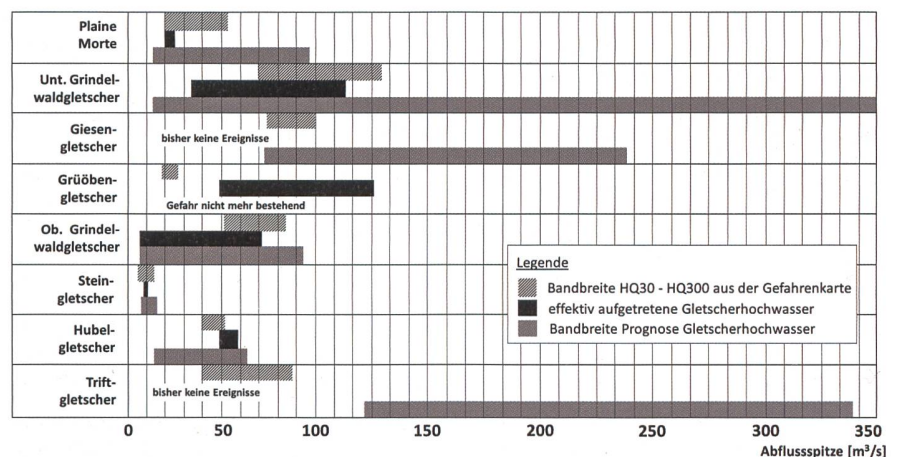


Abb. 2: Vergleich der Bandbreite der niederschlagsverursachten Hochwasser (HQ30 bis HQ300) aus der Gefahrenkarte, den effektiv aufgetretenen Abflussspitzen durch Gletscherhochwasser und der Bandbreite der Prognose für Abflussspitzen durch Wasserausbrüche für verschiedene Gletscher im Berner Oberland.

allem mit der kontinuierlichen, klimabedingten Geometrieänderung (Vorstoss- und Rückzugsphasen) der Gletscher zu tun: Neue Senken entstehen und bestehende vergrössern sich oder lösen sich auf. Ein Gletscher hat Phasen, in denen Gletscherhochwasser gehäuft und Phasen, in denen solche Prozesse nicht auftreten. Oft besteht eine Gefahrenquelle auch nur vorübergehend für einige Monate oder wenige Jahre.

Die Risikobeurteilung setzt voraus, dass neben Ort und Intensität eines möglichen Gletscherhochwassers auch die Eintretenswahrscheinlichkeit und das Ausmass des daraus resultierenden Schadens bekannt sind. Risiko ist allgemein das Produkt aus Schadensausmass und Eintretenswahrscheinlichkeit. Wegmann et al. (2004) haben eine Methode zum Risikomanagement bei Gletschergefahren entwickelt. Diese beruht darauf, dass im Rahmen eines partizipativen Verfahrens mit Fachspezialisten und Lokalkennern die Risiken durch Gletschergefahren quantitativ abgeschätzt werden können. In der Anwendung dieser Methode bildet v.a. die Festlegung der Eintretenswahrscheinlichkeit aufgrund der oft sehr grossen Unsicherheiten eine Schwierigkeit. Dies kann am Beispiel des Oberen Grindelwaldgletschers gut gezeigt werden: Dort wurde von 2009 bis 2011 durch über

dreissig Wassertaschenausbrüche dreimal ein 100-jährliches und sechsmal ein 30-jährliches Hochwasser überschritten. In einem solchen Fall ist es nicht sinnvoll, die Hochwasserstatistik, welche sich auf niederschlagsbedingte Hochwasser bezieht, anzupassen und das bisherige 100-jährliche neu als zehnjährliches Hochwasser zu klassieren, da absehbar ist, dass die Gefahrensituation nur solange anhält, bis sich der Gletscher in wenigen Jahren aus der engen, flachen Schlucht zurückgezogen hat. Hier eine Wiederkehrperiode für Gletscherhochwasser zu definieren, ist nicht möglich. Der Unsicherheitsbereich einer so festgelegten Wiederkehrperiode würde um ein Mehrfaches stärker variieren als alle übrigen Einflussgrössen auf das Risiko. Bezüglich Eintretenswahrscheinlichkeit bei Gletscherhochwasser ergeben sich zwei Fragestellungen:

- Interannuelle Wahrscheinlichkeit: Wie gross ist die Wahrscheinlichkeit für einen oder mehrere Wasserausbrüche mit einer bestimmten Abflussspitze innerhalb eines Jahres?
- Dekadische Wahrscheinlichkeit: Welche Wiederkehrperiode ist einer solchen Abflussspitze in der Hochwasserstatistik des betroffenen Gewässers innerhalb einer Zeitspanne von einem oder mehreren Jahrzehnten zuzuordnen?

Die interannuelle Wahrscheinlichkeit lässt sich nur durch eine situative, gutachterliche Beurteilung der Gefahrendisposition anhand des aktuellen Zustands des Gletschers und seines Umfelds beantworten und beinhaltet die beschriebenen Schritte der Gefahrenbeurteilung (siehe oben). Wird die Abflussspitze eines Gletscherhochwassers in Relation zu einem «normalen» niederschlagsverursachten Hochwasser mit einer bekannten Wiederkehrperiode von beispielsweise 30, 100 oder 300 Jahren gesetzt, lässt sich die dekadische Wahrscheinlichkeit eingrenzen. Dies setzt aber voraus, dass Gletscherhochwasser über längere Zeiträume betrachtet nicht zu einer wesentlichen Veränderung der Hochwasserstatistik führen. Damit kann das potenzielle Ereignis je nach Ausprägung in den Bereich eines häufigen oder eines aussergewöhnlichen Prozessablaufs eingeordnet werden (vgl. Abb. 2). Gleichzeitig lässt sich die Eintretenswahrscheinlichkeit in der Risikoformel grob eingrenzen.

Risikomanagement von Gletscherhochwasser

Das Risikomanagement hat zum Ziel, Schäden an Personen und Sachwerten zu minimieren oder im besten Fall zu verhindern. Die Konzepte und Instrumente des integralen Risikomanagements bei gravitativen Naturgefahren in der Schweiz haben sich bewährt und lassen sich auch bei Gletscherhochwasser erfolgreich einsetzen. Da Gletscherhochwasser oft nur vorübergehend ein Risiko darstellen und die Wahrscheinlichkeit eines Grossereignisses meist gering ist, konzentrieren sich Präventionsmassnahmen üblicherweise auf organisatorische Massnahmen, d.h. den Schutz von Personen. Schäden an Sachwerten werden dabei eher in Kauf genommen. Das Risikomanagement setzt voraus, dass ein mögliches Gefahrenpotenzial erkannt wird. Da sich die Gletscher innerhalb kurzer Zeit stark verändern können, müssen sämtliche Schritte von der Szenarienbildung bis zur Wirkungsbeurteilung laufend überprüft und gegebenenfalls angepasst werden. Ein syste-



Abb. 3: Gletschersee auf dem Unteren Grindelwaldgletscher 2009 (Bild: Oberingenieurkreis I, Nils Hählen).

matisches Monitoring ist daher eine essentielle Daueraufgabe. Dieses ermöglicht es, die Bildung oder Vergrößerung von Gletscherseen frühzeitig zu erkennen. Im Berner Oberland basiert dieses hauptsächlich auf periodischen Auswertungen von Luftbildern und Beobachtungsmeldungen durch Sicherheitsverantwortliche aus den Gemeinden, Bergführer oder Berggänger.

Raumplanerische Massnahmen

Präventive raumplanerische Massnahmen gegen Gletscherhochwasser sind aufgrund der grossen Unsicherheiten oft nicht realisierbar. Sofern die Wirkungsräume und Intensitäten eines Gletscherhochwassers im Bereich des in der Gefahrenkarte abgebildeten, niederschlagsverursachten Hochwassers liegen (vgl. Abbildung 2), besteht keine Notwendigkeit, diese speziell in der Gefahrenkarte zu berücksichtigen. Sobald sie aber ein bedeutend grösseres Ausmass annehmen, sind sie bei der Beurteilung von Bauvorhaben über Bauverbote oder Bauauflagen zu berücksichtigen. Dazu werden die erwarteten Wirkungsräume in einer separaten Karte als ergänzendes Gefahrengebiet mit unbestimmter Gefahrenstufe dargestellt. Eine solche Karte hat oft nur wenige Jahre Gültigkeit. Sie wird aufgehoben, sobald die Gefährdung nicht mehr besteht. So war aufgrund des Gletschersees auf dem Unteren Grindelwaldgletscher von 2008 bis 2010 in acht unterliegenden Gemeinden eine solche Karte in Kraft und hat sich als Präventionsmittel sehr bewährt. Grössere Bauvorhaben in kritischen Gebieten wurden gestützt auf dieses Instrument zurückgestellt.

Organisatorische Massnahmen

In Bezug auf Schutzmassnahmen ist die Art und Exposition der Schutzgüter entscheidend. In Fällen, in denen v.a. Personen gefährdet sind, ist es zweckmässig, die gefährdeten Räume abzusperrn,



Abb. 4: Gletschersee Faverges auf der Plaine Morte an der Lenk 2012 (Bild: Oberingenieurkreis I, Nils Hählen).

wenn sich eine Gefahrensituation einstellt. Um diese Entscheidungen treffen zu können, sind Überwachungs- und Frühwarnsysteme hilfreich, welche die Sicherheitsverantwortlichen mit den notwendigen Informationen versorgen. Frühwarnsysteme haben zum Ziel, die Reaktionszeit im Vorfeld von Ereignissen zu erhöhen. Im Berner Oberland sind einige dieser Systeme erfolgreich im Einsatz. Voraussetzung dafür ist, dass die Prozesse verstanden sind und eine Notfallorganisation mit Pikettdienst besteht, welche die notwendigen Massnahmen bei kritischen Entwicklungen zeitgerecht umsetzt. Auf der Plaine Morte in der Gemeinde Lenk besteht ein solches Frühwarnsystem, das auf automatischen Kameras beim Gletschersee, einer Pegelmessung im See und einer Abflussmessung beim Gletschertor basiert. Durch die Gletscherseeausbrüche sind in erster Linie eine Alp, ein viel begangener Wanderweg in einem beliebten Ausflugsgebiet sowie ein Hotel und ein Campingplatz gefährdet. Die Seeausbrüche verliefen bisher sehr gutmütig: Ein Ausbruch war dank des Frühwarnsystems Tage im Voraus in der Stagnation und im anschliessenden gemächlichen Absinken des Seepiegels erkennbar, bevor ein deutlicher Anstieg des Abflusses in der Simme auftrat. Damit besteht eine komfortable Reaktionszeit, um gefährdete Wanderwege präventiv zu

sperrn. Für den Fall eines grösseren Ausbruchs liegt eine Notfallplanung zum Schutz von Personen vor.

Bauliche Schutzmassnahmen

Bauliche Schutzmassnahmen an Gletschern sind selten und werden nur dann ergriffen, wenn das Ausmass eines Ereignisses sehr gross werden kann und der Schutz mit organisatorischen Massnahmen ungenügend ist. Beim Gletschersee auf dem Unteren Grindelwaldgletscher waren die Personenrisiken mit dem 2006 eingerichteten Frühwarnsystem und einer umfangreichen Notfallplanung in den Griff zu bekommen. Für den Stollenbau war dann aber das erwartete Schadensausmass im Lüttschental bis nach Interlaken von rund Fr. 200 Mio. (berechnet gemäss Methode Econome 1.0 BAFU 2007) im Falle eines Seeausbruchs sowie der absehbare mehrwöchige Verkehrsunterbruch durch Schäden an der Verkehrsinfrastruktur nach Grindelwald entscheidend (Fechtig, Hählen 2013). Daher wurden die Investitionen von Fr. 15 Mio. für den Stollenbau in einer aufwändigen Variantenevaluation durch ein Expertengremium als verhältnismässig angesehen. Der Stollen wurde 2009 gebaut und hat seither zusammen mit dem weiteren Abschmelzen des Gletschers die Gefah-

renlage am Unteren Grindelwaldgletscher markant entschärft.

Verzicht auf Massnahmen

Nicht bei jedem Gletschersee sind aufwändig Massnahmen nötig. Aus dem proglazialen Gletschersee am Hubelgletscher im hinteren Lauterbrunnental hat sich 2004 ein grosser Murgang ereignet, der eine Brücke zerstört, sechs parkierte Autos weggerissen und grosse Teile der Alp- und Forststrasse beschädigt hat. Ursache des Ausbruchs war der Bruch einer Verklauung des Seeausflusses durch Eisblöcke aus Eiskalbungen des hinterliegenden Gletschers. Ein solches Ereignis kann immer noch auftreten. Da jedoch nur Alpgebiete und Wanderwege betroffen sind, wurde auf umfangreiche Schutzmassnahmen verzichtet. Die gefährdeten Abschnitte des Wanderwegs sind mit Warntafeln mit Verhaltensanweisungen versehen. Daneben wird der Zustand des Gletschers periodisch durch die Sicherheitsverantwortlichen beurteilt.

Ausblick

Gemäss NELAK (2013) können im Berner Oberland im Zuge des Gletscherschwundes innerhalb der nächsten Jahrzehnte über 100 neue Seen auf insgesamt 39 Gletschern entstehen. Zusammen mit den tendenziell zunehmenden Instabilitäten durch degradierenden Permafrost, woraus sich Massenbewegungen in neue Seen ergeben können, dürfte das Gefahrenpotenzial in Zukunft weiter ansteigen. 2015 wurde im Berner Oberland eine Studie im Auftrag des Kantons abgeschlossen (vgl. Tobler et al. in Vorbereitung), welche u.a. die Entwicklung des Gefahrenpotenzials der Gletscher bis ins Jahr 2060 grob beurteilt. Damit besteht neben dem Inventar der gefährlichen

Gletscher der Schweiz (Raymond et al. 2003), welches auf einer retrospektiven Sicht beruht, auch eine Übersicht über mögliche Gefahren, die künftige Entwicklungen miteinschliesst. Diese Studie erlaubt es, die potentiell kritischen Gebiete zu identifizieren und mit einem geeigneten Monitoring ungünstige Entwicklungen frühzeitig erkennen zu können. Da die Bildung von gefährlichen Situationen bei Gletschern umso wahrscheinlicher ist, je stärker und schneller die Veränderung der Gletscher abläuft (GLACIORISK 2003), muss in den kommenden Jahren mit weiteren anspruchsvollen Situationen gerechnet werden. Die Bedeutung von anpassungsfähigen und verhältnismässigen Massnahmen wird dabei immer mehr zunehmen.

Literatur:

BAFU (2007): EconoMe 1.0. Online-Berechnungsprogramm zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren. Handbuch/Dokumentation, Bern, 27 S.

Fechtig R., Hählen N. (2013): Entwässerungstollen Gletschersee Unterer Grindelwaldgletscher. In: Tunnelling Switzerland, vdf Hochschulverlag Zürich, S. 386–391. GLACIORISK (2003).

GLACIORISK. Survey and prevention of extreme glaciological hazards in European mountainous regions. EVG1 2000 00512 Final report (01.01.2001–31.12.2003), compiled by Richard D. and Gay M., Cemagref Grenoble, 62 S.

Huggel Chr., Haerberli W., Käab A., Bieri D., Richardson S. (2004): An assessment procedure for glacial hazards in the Swiss Alps. In: Canadian Geotechnical Journal, 41, S. 1068–1083.

NELAK (2013): Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken. Forschungsbericht NFP 61. Haerberli W., Bütler M., Huggel Chr., Müller H.,

Schleiss A. (Hrsg.), vdf Hochschulverlag Zürich, 290 S.

Raymond M., Wegmann M., Funk M. (2003): Inventar gefährlicher Gletscher in der Schweiz, VAW Mitteilungen 182, ETH Zürich, 368 S.

Tobler D., Mani P., Riner R., Liener S., Hählen N., Bender R., Graf K., Raetzo H. (in Vorbereitung): Periglacial Hazard Indication Map: A Basic Instrument in Prospective Hazard Management. Interpraevent 2016, Tagungsbeiträge, Klagenfurt.

Wegmann M., Bruderer A., Funk M., Wuilloud Ch. (2004): Partizipatives Verfahren zum Risikomanagement bei Naturgefahren. Angewendet für Gletschergefahren. In: Interpraevent 2004 Band IX, Klagenfurt, S. 297–308.

Worni R., Huggel Chr., Clague J.J., Schaub Y., Stoffel M. (2014): Coupling glacial lake impact, dam breach, and flood processes: A modeling perspective. In: Geomorphology 224. S.161–176.

Original veröffentlicht in: Hählen N., Hitz O., Stoffel D. (2016): Management of glacier floods in the Bernese Oberland (Umgang mit Gletscherhochwasser im Berner Oberland). In: Koboltschnig G., Kienholz H., Laigle D., Mikoš M., Rudolf-Miklau F., Stoffel M. (eds.) Proceedings of the 13th Congress INTERPRAEVENT 2016, 30 May–2 June 2016, Lucerne, Switzerland: 553–560.

Nils Hählen
Amt für Wald des Kantons Bern
CH-3800 Interlaken
nils.haehlen@vol.be.ch

Oliver Hitz
Damian Stoffel
Oberingenieurkreis I
Tiefbauamt des Kantons Bern
CH-3000 Bern