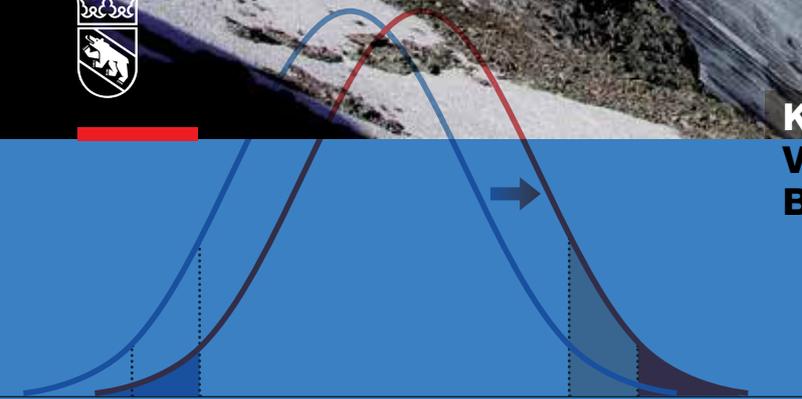




Klimawandel und Naturgefahren – Veränderungen im Hochgebirge des Berner Oberlandes und ihre Folgen





Murgänge und Geschiebeumlagerungen
im Gasterntal bei Kandersteg



Der Klimawandel ist Realität – auch bei uns. In hochalpinen Gebieten des Berner Oberlandes treten seit Jahren immer wieder neue Gefahrenherde auf, die durch den Rückgang von Gletschern und Permafrost entstehen. Sie bedrohen teilweise die Sicherheit von Siedlungen und Infrastrukturen. Der Oberingenieurkreis I Oberland (Tiefbauamt des Kantons Bern, TBA) und die Abteilung Naturgefahren (Amt für Wald, KAWA) haben deshalb die Studie GHKperiGlazial durchgeführt – eine Pilotstudie mit wegweisendem Charakter: Sie zeigt auf, wo sich aus Gletscher- und Permafrostgebieten im Berner Oberland die Naturgefahren in Folge des Klimawandels verändern und welche Räume künftig durch Prozesse wie etwa Murgänge oder Eislawinen stärker betroffen sein können.

Der Begriff periglazial im Namen der Studie bezeichnet Gebiete, die bisher vergletschert waren oder Permafrost aufweisen. Permafrost ist Boden, der ab einer gewissen Tiefe das ganze Jahr über gefroren ist. Die vorliegende Broschüre richtet sich an die Gemeinden und andere sicherheitsverantwortliche Stellen sowie interessierte Personen aus der Bevölkerung. Sie soll Informationen dazu liefern, was in der Studie untersucht wurde und welche Schlüsse daraus gezogen werden können. Für die wichtigsten Fachbegriffe besteht am Ende der Broschüre ein Glossar.

In der Gefahrenhinweiskarte (GHK) periGlazial sind die aktuellen und potenziellen Gefahrenquellen der nächsten 50 Jahre erfasst. Bewertet werden deren Gefahrenpotenzial und ihr mutmasslicher Wirkungsbereich. Der Untersuchungsperimeter konzentriert sich dabei auf Einzugsgebiete im Berner Oberland, welche im Einflussbereich periglazialer Prozesse liegen, also in Zonen rund um die Gletscher- und Permafrostvorkommen. Er reicht vom Saanenland im Westen bis zum Gadmen- und Haslital im Osten. Südlich verläuft der Perimeter entlang der hohen Alpengipfel an der Grenze zum Wallis; nördlich bilden Thuner- und Brienersee sowie das Gental den Abschluss.

Fazit der vorliegenden Studie: Naturereignisse werden durch den Klimawandel vereinzelt grösser oder intensiver, vor allem aber werden sie häufiger vorkommen.

Die Gefahrenhinweiskarte GHKperiGlazial liefert wichtige Hinweise; die Ergebnisse sind jedoch mit Vorsicht zu interpretieren:

- Die Identifizierung potenzieller Gefahrengebiete basiert einzig auf Computermodellierungen ohne Verifikationen im Feld.
- Zu Gefahren, die erst nach einer Abfolge von mehreren Ereignissen auftreten oder durch deren Kombination Gebäude oder Infrastruktur bedrohen, kann die Gefahrenhinweiskarte keine Aussagen machen.
- Die grobe Prozessmodellierung wird den mehrheitlich kleinräumigen Gebieten im Berner Oberland nicht vollständig gerecht.

Aussagen zu generellen Trends und zu grösseren Einzugsgebieten sind zulässig, punktgenaue Aussagen für einzelne Gebäude oder Strassenabschnitte hingegen nicht. Hierfür sind im Einzelfall detaillierte Untersuchungen notwendig. Die GHKperiGlazial zeigt, wo solche weitergehenden Untersuchungen sinnvoll sind. Letztlich wird in Zukunft nur ein Bruchteil der untersuchten Gefahrenquellen effektiv zu Konflikten führen. Welche das sein werden, lässt sich jedoch zum heutigen Zeitpunkt nicht genau voraussagen.

Insgesamt bietet die vorliegende Studie eine geeignete Grundlage, um potenzielle Gefahrengebiete im Auge zu behalten und ungünstige Entwicklungen frühzeitig zu erkennen.

Nils Hählen
Vorsitzender Arbeitsgruppe Naturgefahren
(AG Nagef)

Inhaltsverzeichnis

- 5 **Zusammenfassung**

- 7 **Klimawandel trifft auch die Schweiz**
 - Klima ist nicht gleich Wetter
 - Grunddisposition und Auslöser

- 9 **Auswirkungen auf das Hochgebirge**
 - Gletscher ziehen sich zurück
 - Permafrost degradiert
 - Kürzere Schneebedeckung

- 10 **Gefahrenprozesse verändern sich**
 - Lawinengefahr geht nicht zurück
 - Rutsch-, Sturz- und Murgangprozesse werden häufiger
 - Geschiebefrachten in den Gewässern steigen an

- 12 **Verschiedene Prozessarten und ihre räumliche Ausbreitung**
 - Sturzgefahren
 - Eislawinen
 - Rutschungen und Hangmuren
 - Murgang
 - Hochwasser aus Gletscherseen

- 28 **Fazit**

- 31 **Umsetzung und Monitoring**

- 34 **Glossar**

- 35 **Ansprechpartner**

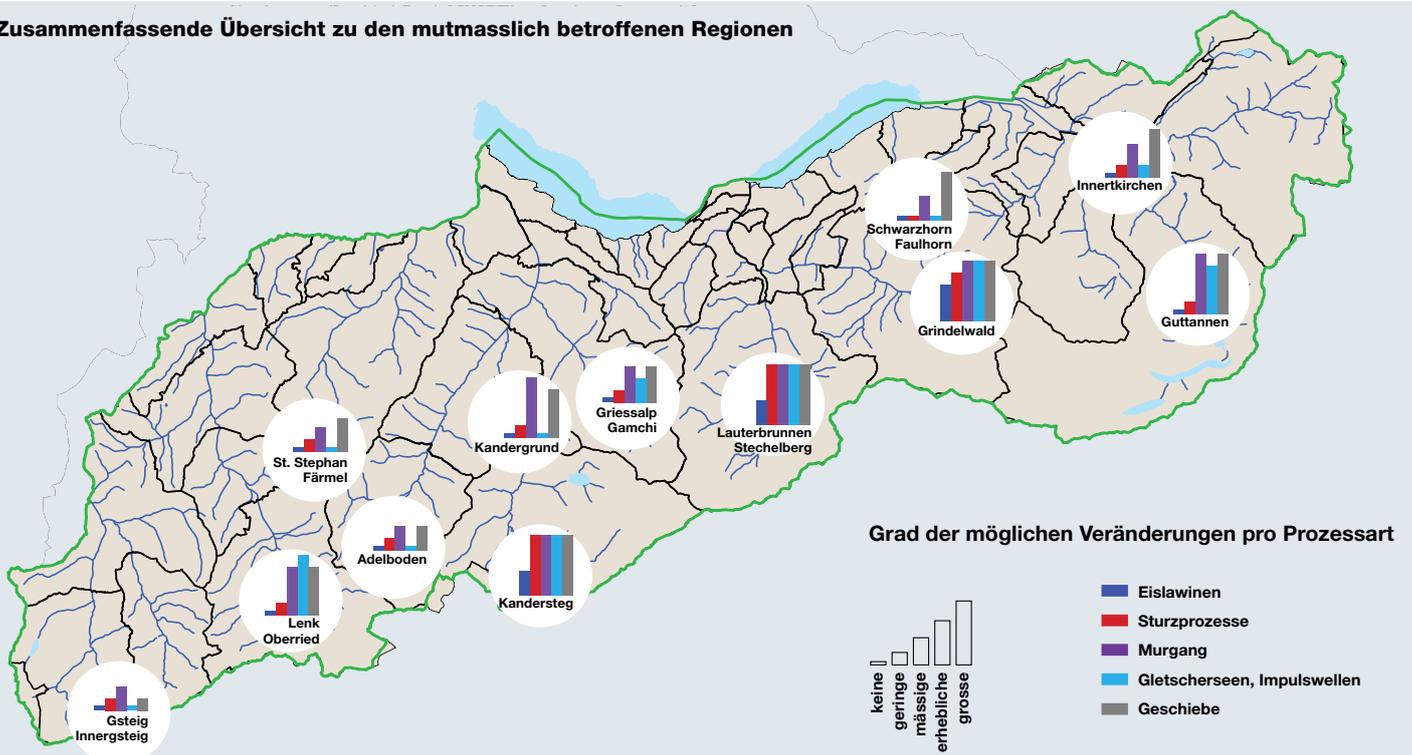
Die Gefahrenhinweiskarte GHKperiGlazial gibt für das Berner Oberland erstmals einen Überblick, wo als Folge der Klimaänderung in von Frost geprägten Gebieten am ehesten mit Veränderungen der Naturgefahren zu rechnen ist und welche Prozessarten davon betroffen sind. Es kann aufgezeigt werden, dass die grössten Veränderungen weitab von Siedlungen in Seitentälern und im Hochgebirge stattfinden. Nur ganz vereinzelt können dauernd bewohnte Gebäude betroffen sein; die Existenz ganzer Siedlungen ist aus heutiger Sicht nicht in Frage gestellt. Es zeigt sich, dass die bestehenden Gefahrenkarten robust sind. Durch die Klimaänderung sind im Siedlungsgebiet des Berner Oberlandes kaum neue Gefahrenflächen zu erwarten. Hingegen kann die Häufigkeit oder Intensität von einzelnen Ereignissen gegenüber der Vergangenheit zu nehmen. Geographisch liegt der Schwerpunkt der Veränderungen im mittleren und östlichen Berner Oberland, bedingt durch die dort höheren Berge und somit ausgedehnteren Vorkommen von Permafrost und Gletschern.

Bei den Prozessarten hat der Murgang die grösste Bedeutung, da er aufgrund seiner grossen Reichweite flächenmässig am meisten Gebiete betrifft. Stein- und Blockschlag sowie Felsstürze und Eislawinen sind demgegenüber deutlich untergeordnet. Bei den Rutschprozessen werden keine direkten Veränderungen

auf die Siedlungen und Infrastrukturen erwartet, weil deren Reichweite stark limitiert ist. Insgesamt dürften aber nicht die gefährlichen Naturgefahrenprozesse wie Murgang oder Steinschlag die grosse Herausforderung im Zuge der Klimaänderung werden, sondern deren indirekte Folgen auf die Gewässer. Dadurch dass vermehrt Geschiebe aus destabilisiertem Permafrost und Gletscherückzugsgebieten mobilisiert wird, steigt die Geschiebefracht in vielen Gewässern im Berner Oberland an. Flache Gewässerabschnitte werden so häufiger mit Geschiebe gefüllt und Geschiebesammler müssen öfter entleert werden. Direkt werden dadurch keine Personen oder Bauten gefährdet. Der Aufwand für den Unterhalt der Gewässer kann aber sehr stark ansteigen und die Bewirtschaftung der grossen Geschiebemengen wird eine schwierige Aufgabe darstellen. Die vorliegende Studie liefert zur Lösung dieser Herausforderungen eine erste Grundlage, indem die potenziell kritischen Gebiete identifiziert werden können.

Die Prävention und der Umgang mit den möglichen Risiken erfordern eine enge Zusammenarbeit zwischen Gemeinden, den kantonalen Fachstellen und weiteren sicherheitsverantwortlichen Stellen wie z.B. Strassen- oder Bahnbetreiber. Dabei spielt das Monitoring von Gebieten, wo grössere Veränderungen erwartet werden, eine wichtige Rolle.

Zusammenfassende Übersicht zu den mutmasslich betroffenen Regionen





Die globale Erderwärmung trifft das Schweizer Mittelland und den Alpenraum überdurchschnittlich stark. So stieg z.B. auf der Alpen-nordseite die mittlere Jahrestemperatur im 20. Jahrhundert um rund 1,7 Grad Celsius an. Die Prognosen der Fachspezialisten rechnen bis ins Jahr 2060 mit einem weiteren Anstieg von ein bis drei Grad. Durch die höhere Lufttemperatur steigt auch die Nullgradgrenze in den Bergen. Dadurch nimmt die Fläche der Gletscher ab und der Permafrost wird stärker auftauen, in tieferen Lagen sogar ganz verschwinden. Hänge, Moränen und Felswände werden destabilisiert. So steht künftig mehr Gesteine zur Verfügung, welches bei Starkniederschlägen in die Täler transportiert wird. Gleichzeitig können neue Rutsch- und Sturzprozesse auftreten, die bisher unbekannte Gefahrengebiete betreffen.

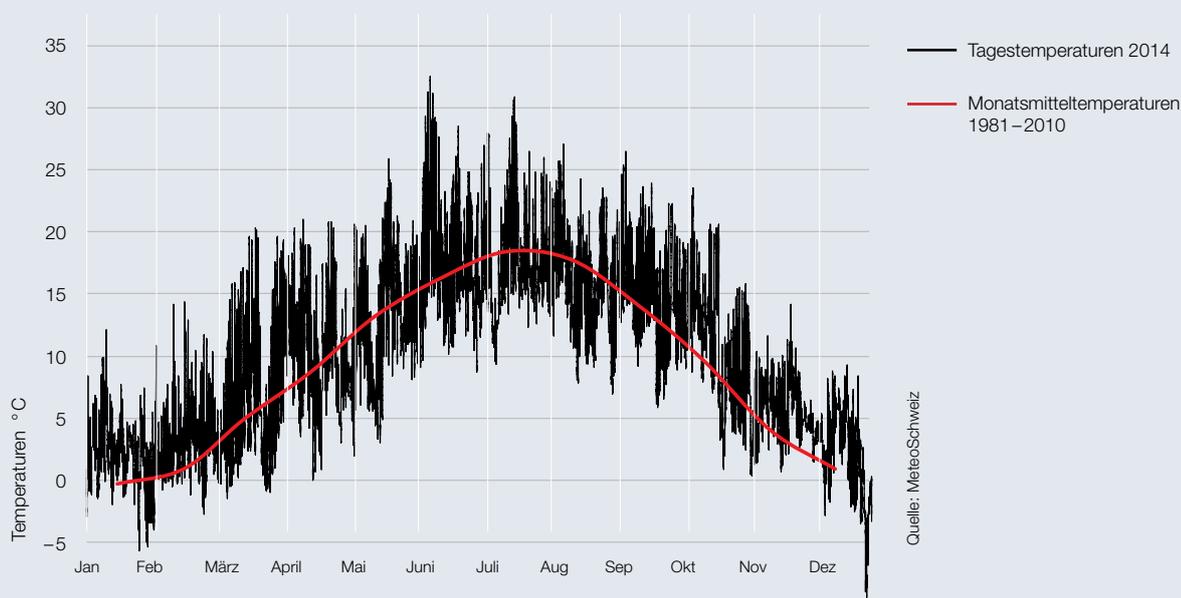
Viele Veränderungen laufen weit entfernt von den Siedlungsräumen ab und haben daher kaum Einfluss auf das Schadenpotenzial. Es gibt daher keinen Grund, die mögliche Entwicklung zu dramatisieren. Lokal können sich allerdings grosse Herausforderungen stellen, wenn etwa eine Häufung von Murgängen wichtige Verkehrsverbindungen gefährdet, zu viel Gesteine die Transportkapazität der Bäche und Flüsse übersteigt oder Gletscherseen zu häufigeren und intensiveren Hochwassern führen.

Klima ist nicht gleich Wetter

Das Zitat «Climate is what you expect, weather is what you get.» von Robert A. Heinlein zeigt den Unterschied zwischen Klima und Wetter sehr anschaulich auf. Beim Wetter handelt es sich um den Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort und zu einem bestimmten Zeitpunkt (während Minuten bis Stunden). Das Klima hingegen ist der für einen Ort typische Wetterzustand während eines längeren Zeitraumes (Monate bis Jahrzehnte).

Die untenstehende Abbildung zeigt für die Station Interlaken auf, dass die langjährige Monatsmitteltemperatur z.B. im Juli bei ca. 18 Grad Celsius liegt. Das effektive Wetter im Juli 2014 zeigte aber starke Temperaturschwankungen, nämlich zwischen knapp 9 und maximal 31 Grad. Das Temperaturmittel entspricht mit rund 18 Grad dennoch dem langjährigen Mittelwert. Das Wetter kann also grosse Ausreisser aufweisen, ohne dass sich das Klima verändert.

Klima und Wetter: Monatsmitteltemperaturen zwischen 1981 und 2010 im Vergleich zu den Tagestemperaturen 2014, Station Interlaken



Heutzutage sind v.a. mittlere Temperaturen häufig, extrem kalte oder extrem heisse sind seltener. Mit dem Klimawandel könnte eine Verschiebung zu höheren Temperaturen hin erfolgen. Die Auswirkungen sind bei Extremtemperaturen besonders stark: Sehr heisses Wetter wird viel häufiger und extrem kaltes seltener werden.

Grunddisposition und Auslöser

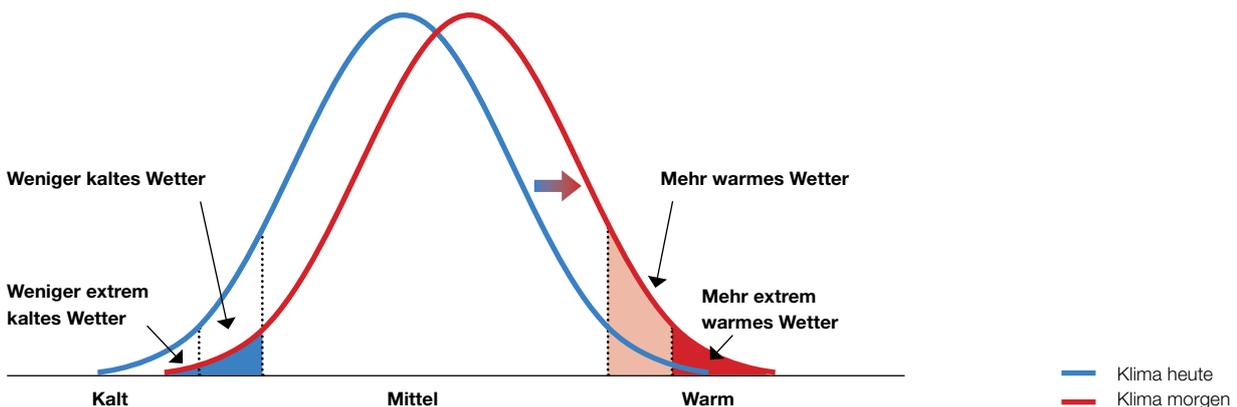
Das Klima beeinflusst den Wasser- und Schneehaushalt, die Vegetation oder auch die Gesteinsverwitterung. Es ist damit neben Geologie, Geländeneigung etc. einer der wichtigsten Faktoren, welcher auf die allgemeine Bereitschaft (Grunddisposition) zu gefährlichen Hang- und Gerinneprozessen einwirkt.

Dort, wo Niederschlag oft als Schnee fällt, sind grundsätzlich Lawinen möglich; wenn viel Niederschlag als Regen fällt, kann es Hochwasser geben. In einem Hang oder Gerinne bereitliegendes Lockergestein kann eine der Voraussetzungen für Rutschungen oder Murgänge sein.

Der Auslöser von Gefahrenprozessen ist aber fast in jedem Fall ein Wetterereignis, wie z.B. ein heftiges Gewitter, das einen Murgang zur Folge hat.

Weil das Klima und seine mögliche Entwicklung recht gut prognostizierbar sind, lassen sich dazu zuverlässigere Aussagen machen als zum Zeitpunkt und Ausmass eines Unwetters.

Möglicher Einfluss der Klimaänderung auf die Häufigkeit von Extremereignissen am Beispiel von Temperaturextremen Basis Grafik: OcCC 2003



Gletscher- und Permafrostvorkommen im Untersuchungsperimeter



Steigende Temperaturen wirken sich auf das Gletscher- und Permafrostvorkommen sowie die Schneebedeckung im alpinen Raum aus. Was heisst das konkret?

Gletscher ziehen sich zurück

Rund 7 Prozent des Berner Oberlandes sind von Gletschern bedeckt, wobei ihr Vorkommen auf lediglich 15 Gemeinden verteilt ist. Als Folge der Klimaänderung wird sich diese Eisfläche von heute 210 voraussichtlich auf 91 Quadratkilometer im Jahr 2060 reduzieren. Bis Ende des 21. Jahrhunderts könnten die Gletscher im Kanton Bern sogar fast vollständig verschwunden sein.

Bedingt durch diesen Rückgang fliesst im Sommer weniger Gletscherwasser in die Bäche und Flüsse. Der Klimawandel destabilisiert zudem Hängegletscher und beschleunigt die Bildung neuer Gletscherseen. Einige könnten im Falle eines Ausbruchs eine Gefahr für Menschen und Infrastrukturanlagen in den Tälern darstellen. Die nach der Eisschmelze freigelegten Moränen und Schuttablagerungen führen darüber hinaus zu erhöhten Geschiebefrachten in den Gewässern.

Permafrost degradiert

Als Permafrost wird ständig gefrorener Untergrund bezeichnet, der typischerweise oberhalb von 2400 m ü. M. in Lockermaterial und Fels zu finden ist. Rund 12 Prozent des Berner Oberlandes (350 Quadratkilometer) sind von Permafrostflächen bedeckt, wobei die meisten fernab von Siedlungen in hochalpinen Regionen liegen. An nordexponierten Flanken reichen sie in tiefere Höhenlagen und sind

von den steigenden Temperaturen stärker betroffen als südexponierte Felsflächen. Nur im östlichen Berner Oberland gibt es grössere südexponierte Gebiete, in denen eine starke Veränderung zu erwarten ist.

Im Sommer taut jeweils die oberste Schicht auf. Diese Schicht wird aufgrund der Klimaänderung immer mächtiger. Dabei reagiert Permafrost im Fels wegen seines tieferen Eisanteils schneller auf die Erwärmung als Permafrost im Lockermaterial. Je geringer der Eisanteil, desto weniger Wärme braucht es, um den Permafrost aufzutauen. Dieses sogenannte Degradieren bewirkt, dass das aufgetaute Gesteinsmaterial durch Rutsch-, Sturz- oder Murgangprozesse sehr schnell in Bewegung versetzt werden kann.

Kürzere Schneebedeckung

Der Klimawandel führt zu höheren Temperaturen und leicht erhöhten Winterniederschlägen. Die Nullgradgrenze steigt pro Grad Erwärmung um rund 100 bis 150 Meter an. Bis ins Jahr 2035 werden die Veränderungen oberhalb 2000 m ü. M. nur sehr geringfügig sein. Es besteht jedoch ein deutlicher Trend hin zu späterem Einschneien und zu früherem Ausapern. Bis Ende des Jahrhunderts wird eine um 5 bis 9 Wochen pro Jahr kürzere Schneebedeckung erwartet, was einer Höhenverschiebung um 400 bis 800 Meter entspricht. Das heisst, dass die Schneeverhältnisse, wie sie heute auf 1000 m ü. M. herrschen, Ende des 21. Jahrhunderts in Höhenlagen von 1400 bis 1800 m ü. M. auftreten werden. Da das Zusammenspiel der klimabeeinflussenden Faktoren jedoch komplex ist, wird es auch in Zukunft Perioden mit viel Schnee oder grosser Kälte geben.



Permafrostdurchsetzte Nordseite des Schilthorns

Gefahrenprozesse verändern sich

Für die Entstehung von Naturgefahren sind primär Temperatur und Niederschlag entscheidend. Ihre Auswirkungen können je nach Prozessart sehr unterschiedlich ausfallen. Was heisst das für die einzelnen Naturgefahren?

Lawinengefahr geht nicht zurück

Trotz generell abnehmender Schneemengen werden Grosslawinen nicht unbedingt seltener. Denn sie werden hauptsächlich durch witterungsbedingte Extremsituationen ausgelöst und weniger durch klimatische Veränderungen. Solche Wetterlagen werden auch künftig immer wieder vorkommen. Da es im Winter mehr Niederschlag geben wird, nimmt das Lawinenrisiko in höheren Lagen allenfalls zu. Auch Eislawinen können durch den Gletscherrückzug oder die Eiswärmerung häufiger auftreten – zumindest so lange, bis die Gletscher gegen Ende des Jahrhunderts fast verschwunden sein werden.

Rutsch-, Sturz- und Murgangprozesse werden häufiger

Als Folge des Klimawandels häufen sich Extremereignisse und werden intensiver. Starkniederschläge können Murgänge und Erdrutsche auslösen. Durch den Gletscherrückzug und den auftauenden Permafrost werden Hänge instabiler und damit anfälliger für Felsstürze und Steinschlag. Vermehrte Rutsch-, Sturz- und Murgangprozesse führen zu mehr Geschiebe in Wildbächen und Gebirgsflüssen. Flussabwärts kann das bei flachem Geländeverlauf zu Problemen führen.

Geschiebefrachten in den Gewässern steigen an

Generell dürften intensivere Niederschläge häufiger auftreten und auch in höheren Lagen vermehrt in Form von Regen statt Schnee fallen. Durch die erwähnten Rutsch-, Sturz- und Murgangprozesse gelangt immer mehr Geschiebe in alpine Bäche und Flüsse. Am stärksten nehmen die Niederschläge in den Berggebieten im Herbst zu, der damit punkto Hochwasser und Murgang zur kritischsten Jahreszeit wird: Weil im Herbst die Auftauschicht des Permafrosts am mächtigsten ist, können dann grosse geschiebeverlagernde Prozesse auftreten.

Die Folgen des Klimawandels

Sommer

steigende Temperaturen



weniger Niederschlag



Winter

steigende Temperaturen



mehr Niederschlag





Gletschervorfeld Lämmerenboden unter dem Wildstrubelgletscher

■ Sturzgefahren

Als Sturzprozesse werden schnelle Massenbewegungen verstanden, bei denen sich das aus dem Gestein losgelöste Material fallend, rollend oder springend talwärts bewegt. Den grössten Teil der Strecke legt es dabei in der Luft zurück, wodurch die Gesteinsmasse hohe Geschwindigkeiten erreichen kann.

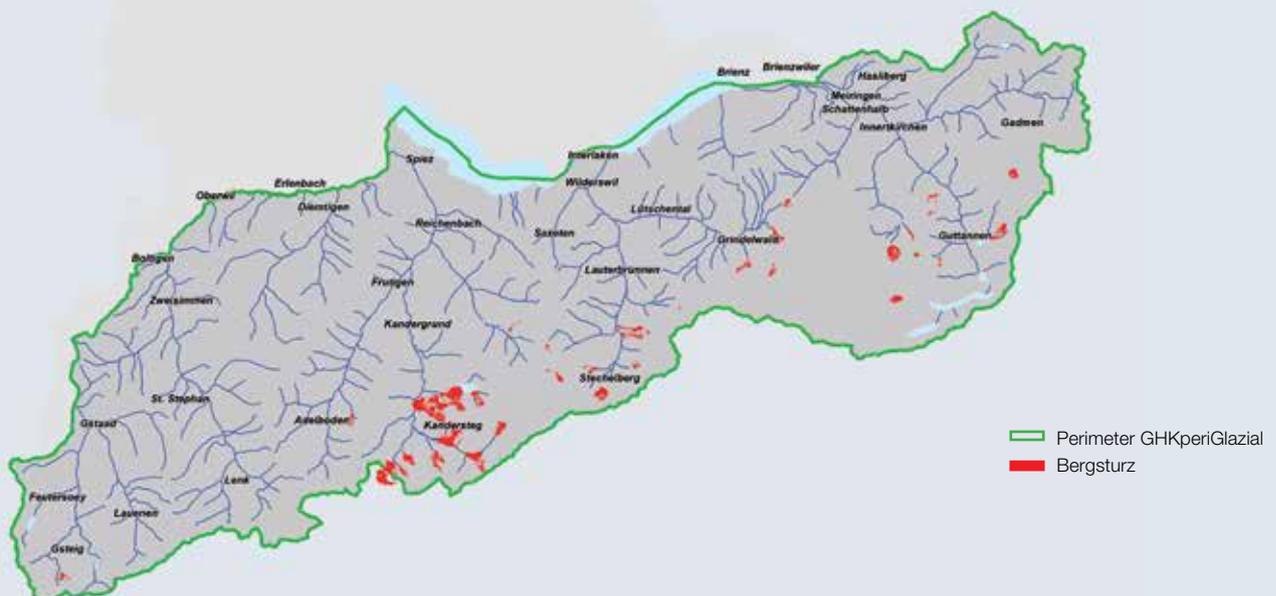
Fels- und Bergsturz

Beim Fels- und Bergsturz lösen sich grössere Gesteinsmassen aus einer Felswand heraus und stürzen ab. Während des Sturzes oder durch den Aufprall zerschellen sie in kleinere Blöcke und einzelne Steine. Der Bergsturz unterscheidet sich anhand des Volumens vom Felssturz: Ersterer umfasst mehr als 1 Million Kubikmeter Gestein. Bergstürze sind aber seltene Ereignisse und treten in der Schweiz nur alle paar Jahre bis Jahrzehnte auf. Die letzten waren am 27. Dezember 2011 am Piz Cengalo im Bergell (GR), am 24. Januar 1996 in der Sandalp Linthal (GL) oder am 18. April 1991 in Randa (VS) zu beobachten. Gut die Hälfte der Bergstürze in der Schweiz gehören zum sogenannten «Grundrauschen», d.h. sie treten unabhängig von Veränderungen im glazialen und periglazialen Bereich auf.

Bildet sich aber nun der Permafrost im Felsen zurück, werden vorhandene Trennflächen im Gestein aktiviert; zusätzlich entstehen neue Entlastungsbrüche, an denen sich das Gestein ablösen kann. Dadurch ergeben sich neue Fliesswege für das Wasser und neue Druckverhältnisse, was den Fels zusätzlich destabilisiert. Auch in Gletscherrückzugsgebieten sind künftig durch freigelegte und entlastete Talflanken neue statische Bedingungen anzutreffen. Der freigelegte Fels ist der Lufttemperatur direkt ausgesetzt und erwärmt sich langsam. Dies kann Bergstürze auslösen, welche im Gletschervorfeld zu einem Aufstau eines neuen Sees führen können.

In acht Gemeinden des Berner Oberlandes finden sich insgesamt 32 potenzielle Bergsturzgebiete. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein einzelnes davon tatsächlich aktiv wird, ist aber sehr klein. Zudem liegen sie vorwiegend im Hochgebirge und gefährden somit nicht unmittelbar Siedlungen oder Infrastrukturanlagen. Neun potenzielle Bergsturzgebiete dürften aus heutiger Sicht zu keinen direkten Folgen für Menschen und zivile Nutzungen führen. Bei weiteren neun wären Alpbgebäude betroffen und drei könnten zu Schäden an Infrastrukturanlagen wie Strassen in Seitentälern oder Hochspannungsleitungen führen. Die grössten

Prozessräume möglicher Bergsturzereignisse im Periglazialgebiet des Berner Oberlandes



Auswirkungen haben Fels- und Bergsturzprozesse jedoch indirekt via Gewässer, indem der erweiterte Feststoffeintrag ...

- zu Murgängen und stärkerem Geschiebetrieb führt,
- ein Gewässer staut und so die Gefahr eines Dammdurchbruchs fördert,
- durch den Sturz in ein stehendes Gewässer Impulswellen auslöst.

→ Die Schlossplatte: Beispiel eines Felssturzes

Am 10. Juni 2006 stellte der Wirt der Grindelwalder Bäregghütte in der gegenüberliegenden Felswand Schlossplatte zwei kleine Felsstürze fest und meldete dies dem Geologen. Bei der Besichtigung vor Ort am nachfolgenden Tag wurden zwei neue Risse im Felsen entdeckt.

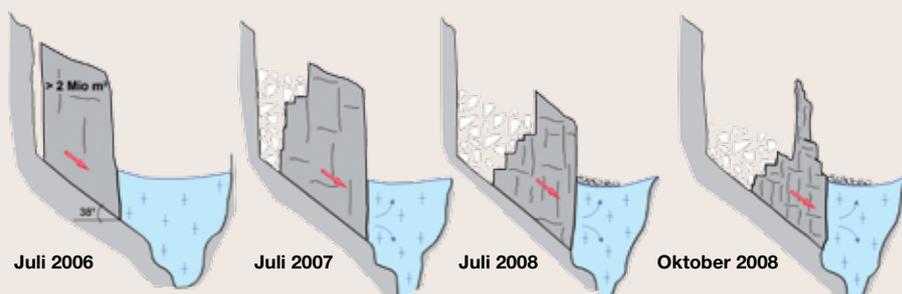
Der Gletscherrückgang in den letzten Jahrzehnten hatte an dieser Stelle Druck vom Gebirge genommen, was zu Mikrorissen führte. Heftige Regengüsse im August 2005 bauten in den Klüften grossen Wasserdruck auf und brachen so den Fels auf. Normalerweise verläuft ein Fels- oder Bergsturz innerhalb von

wenigen Sekunden. Im Fall der Schlossplatte stützte der darunterliegende Gletscher die abgelöste Felsmasse, was den freien Fall des Gesteins verhinderte und den Prozess verlangsamt.

Die grossen Felsmassen bewegten sich bis zu 125 Zentimeter pro Tag, was diese stark zerrüttete. Dadurch kam es immer wieder zu grösseren Abbrüchen von einigen 100 bis knapp 200 000 Kubikmetern. Der Berg fiel langsam in sich zusammen. Zwischen 2006 und 2009 betrug die Rutschbewegung der Schlossplatte rund 24 Meter pro Jahr. Seit 2009 sind nur noch wenige Abbrüche zu beobachten, da fast die ganze oberirdische Felsmasse bereits zerbrochen ist.



Einfache Handmessung der Klüftöffnung
am 15. Juni 2006



Felsrutschung Schlossplatte in Etappen von Juli 2006 bis Oktober 2008



Felssturz Schlossplatte am
Unteren Grindelwaldgletscher
als Folge des Gletscherrückzugs.
Bild oben Juni 2008
Bild Mitte August 2008
Bild unten September 2013

■ Eislawinen

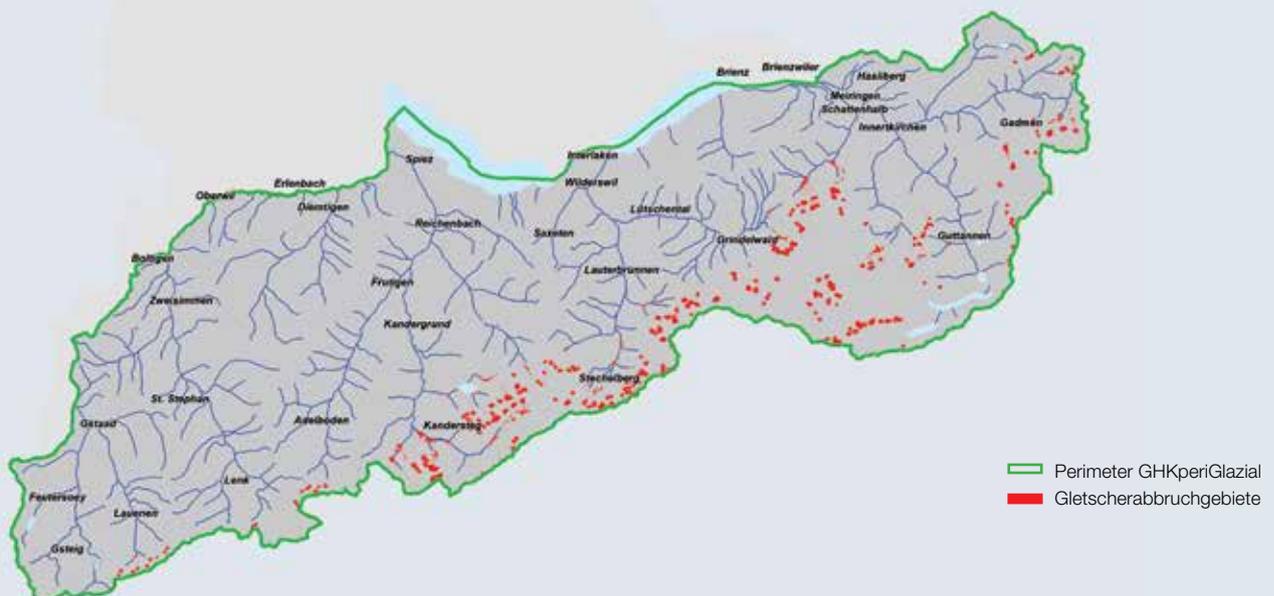
Unter dem Begriff «Eislawine» versteht man den unvermittelten und raschen Abgang von grossen Eismassen. Auslöser dafür sind sogenannte Gletscherstürze, die sehr selten auftreten und nur begrenzt durch den Klimawandel beeinflusst werden. Eislawinen können entweder aus Rampen- oder Klippengletschern entstehen. Bei letzteren kündigen sich grössere Eisabbrüche in der Regel durch mehrere, aufeinanderfolgende kleine Abbrüche an, während beim Rampentyp solche Vorankündigungen oft fehlen.

Die Stabilität von Gletschern hängt stark vom Temperaturzustand in ihrem Inneren und an ihrer Basis ab. Kalte Gletscher haben Eistemperaturen von deutlich unter 0 Grad Celsius, temperierte Gletscher solche nahe bei 0 Grad und polythermale Gletscher sind eine Mischform. Die meisten Gletscher der Alpen unterhalb von ca. 3000 m ü. M. sind temperierte oder polythermale Gletscher. Durch die Klimaänderung können sich kalte Gletscher oder kalte Teile von polythermalen Gletschern erwärmen und instabiler werden. Bei kalten Gletschern treten Eislawinen ab Neigungen von 45 Grad auf, bei temperierten Gletschern

reichen schon 25 Grad Neigung aus. Bei Hängegletschern kann der Temperaturanstieg also eine Eislawine auslösen. Auch der Gletscherrückzug in steilere, höher gelegene Gebiete kann den Gletscher instabiler machen oder Eisabbrüche mit nachfolgenden Lawinen fördern. Gleichzeitig kann die Klimaänderung aber auch heutige Gefahrenquellen eliminieren: Lässt der Gletscherrückzug das Eis in steilen Partien abschmelzen, treten dort künftig keine Eislawinen mehr auf.

Die Studie GHKperiGlazial zeigt potenzielle Gletscherabbruchgebiete und deren maximale Reichweite auf. Es wurde festgestellt, dass im Berner Oberland sieben potenzielle Eislawinen direkt Alpgebäude oder wichtige Infrastrukturanlagen treffen können. Bei weiteren 14 möglichen Abbruchstellen besteht die Gefahr, dass das Eis in Seen stürzt und dadurch eine Prozesskette auslöst. Bei weiteren 15 potenziellen Abbruchgebieten könnten sich künftig im Ablagerungsraum Gletscherseen bilden. Obwohl im mittleren Berner Oberland weniger Gebiete gletscherbedeckt sind als im östlichen Teil, sind die Siedlungsräume vielerorts näher an steilen Gletschergebieten und deshalb eher durch Eisabbrüche gefährdet.

Prozessräume möglicher Gletscherabbrüche im Berner Oberland



→ **Der Altsgletscher:
Beispiel einer Eislawine**

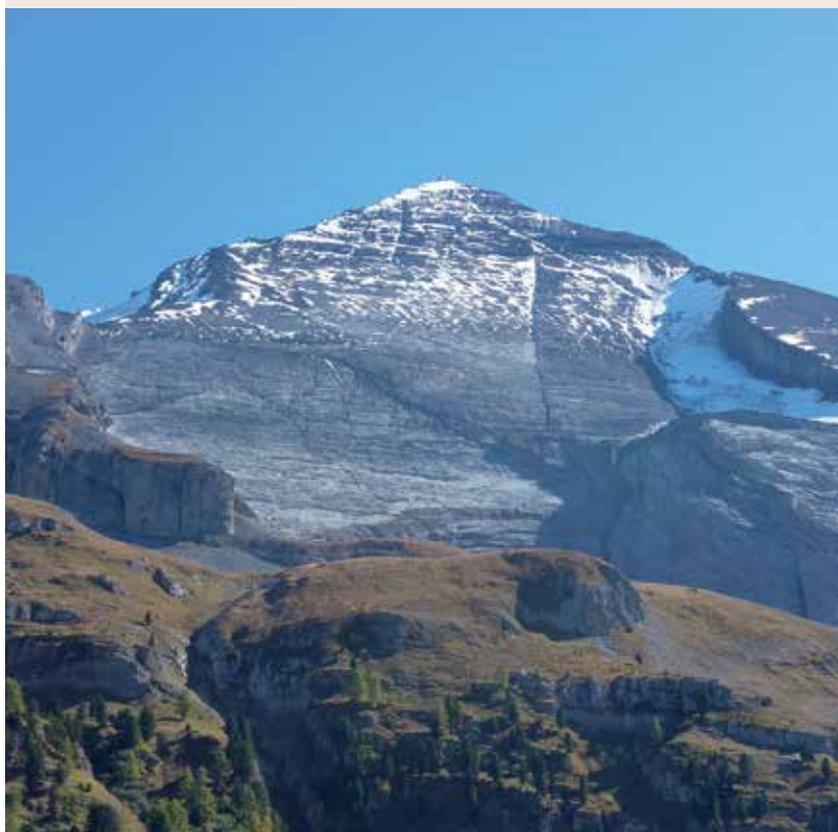
Am 11. September 1895 ereignete sich auf 3340 m ü. M., an der Altels bei Kandersteg der wohl grösste Eisabbruch des Alpenraumes. Rund 5 Millionen Kubikmeter Eis rutschten aus dem Gipfelbereich der Altels und donnerten auf die darunterliegende Alp. Die Eislawine brandete am Gegenhang 320 Meter hoch auf und lagerte sich auf rund 120 Hektaren ab. Ihre Wucht war so gross, dass Kühe über hunderte von Metern durch die Luft geschleudert wurden. Sechs Menschen verloren ihr Leben, 169 Tiere wurden erschlagen und vier Häu-

ser zerrissen. Ein Drittel des Waldes sowie ein grosser Teil des Ertrages an Käse, Butter und Ziger aus diesem Sommer waren vernichtet. Schon früher, am 18. August 1782, trat ein ähnliches Ereignis ein, bei dem ebenfalls mehrere Leute und etliches Vieh ums Leben kamen.

Die Eislawine an der Altels dürfte hauptsächlich auf die erwärmte Gletschersohle zurückzuführen gewesen sein. Heutzutage ist ein ähnliches Ereignis nicht mehr möglich, da der Gletscher ein viel kleineres Ausmass hat als damals.



**Eisablagerungen
auf der Spittel-
matte nach dem
Abbruch 1895**



**Foto der Altels
heute**

■ Rutschungen und Hangmuren

Bewegen sich ganze Hangpartien aus Gesteins- und Bodenmaterial gleitend talwärts, spricht man von Rutschungen. Diese Prozessart kann in den unterschiedlichsten Formen auftreten und je nach Untergrund, Gesteinsbeschaffenheit oder Wasseranteil anders verlaufen. Nachfolgend werden die Typen «permanente Rutschungen» sowie «spontane Rutschungen» und «Hangmuren» eingehender betrachtet.

Permanente Rutschungen

Permanente Rutschungen verschieben sich kontinuierlich und gleichmässig über einen längeren Zeitraum hinweg (Jahrhunderte oder sogar Jahrtausende) hangabwärts. Sie sind im Berner Oberland an mehreren Orten zu finden. In höheren Gebieten versorgen sie Murgänge mit Geschiebematerial. In tieferen Lagen tangieren sie diverse Siedlungsräume direkt.

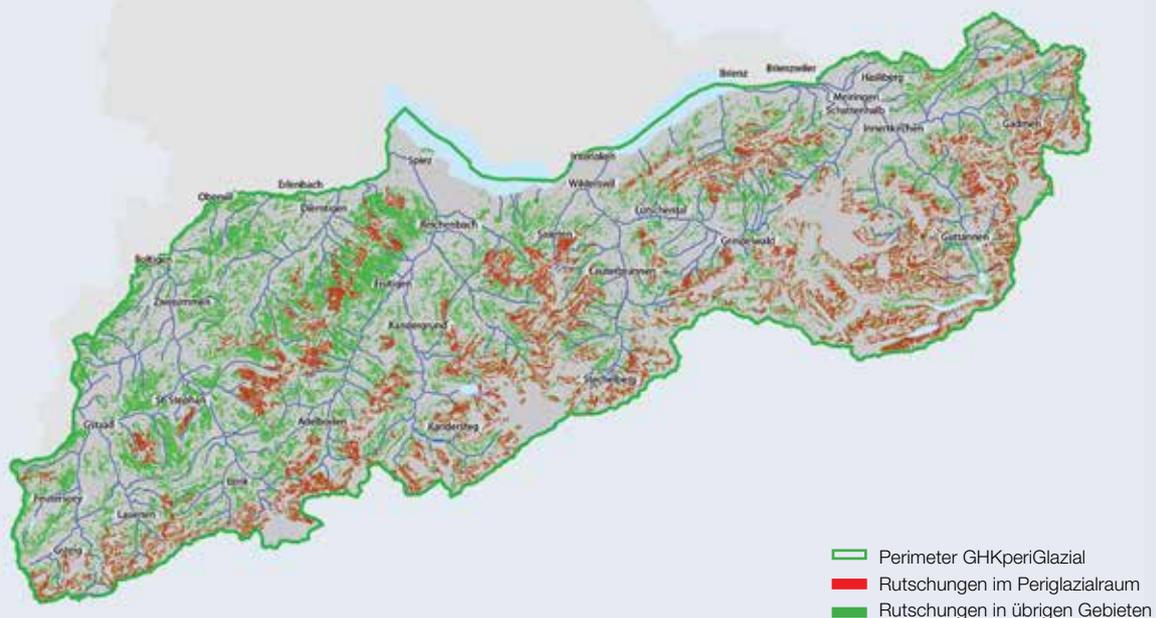
Die klimatischen Veränderungen werden vor allem im Herbst zu intensiveren Niederschlägen führen, was die Aktivität permanenter Rutschungen begünstigt. Deshalb ist in Zu-

kunft mit langandauernden resp. generell stärkeren Aktivphasen zu rechnen – eine Tendenz, die in den alpinen Gebieten teilweise schon heute beobachtet wird. Stärkeres resp. häufigeres Voranschreiten permanenter Rutschungen ist vor allem dort zu erwarten, wo sie bereits heute aktiv sind und/oder im Einflussbereich von Gletschern und Permafrost liegen. Zu erwarten ist jedoch, dass die Veränderungen bei dieser Prozessart eher gering ausfallen.

Spontane Rutschungen und Hangmuren

In beiden Fällen handelt es sich um ein schnell abfließendes Gemisch aus Lockermaterial und Wasser, das sich in flacheren Gebieten, Mulden oder Runsen ablagert. Die Unterschiede zwischen spontanen Rutschprozessen und Hangmuren liegen im Wassergehalt, der daraus entstehenden Verflüssigung sowie entsprechend unterschiedlichen Reichweiten. Sie treten nach intensiver Schneeschmelze oder langanhaltenden Niederschlägen und je nach bestehender Durchnässung der Böden auch bei Gewittern spontan und an relativ steilen Hängen auf.

Prozessräume spontaner Rutschungen und Hangmuren im Berner Oberland



Gelangen Hangmuren in ein Gerinne, liefern sie potenziellen Murgängen entweder viel Geschiebematerial oder lösen diese direkt aus. Obschon Hangmuren durch die Druckwirkung Häuser beschädigen oder gar zerstören können, ist ihr durch die Klimaveränderung bedingtes Gefahrenpotenzial eher bescheiden. Denn ihre Reichweite ist meist auf wenige hundert Meter beschränkt. Und da sich im Periglazialbereich kaum Siedlungsräume und Infrastrukturanlagen finden, sind keine direkten Konflikte zu erwarten.

→ Die Stiereggmoräne:

Beispiel eines Rutschprozesses

Der Untere Grindelwaldgletscher reichte beim letzten Höchststand im Jahr 1860 noch gut zwei Kilometer weiter talabwärts als heute. Im Bereich der Stiereggmoräne lag das Eis sogar über 200 Meter höher – es war problemlos möglich, über den Gletscher von einer Talseite auf die andere zu gelangen. Durch seinen Rückzug wurde eine über 200 Meter hohe, extrem steile Moräne freigelegt.

Der Gletscherrückgang sowie die starke Erosion durch Murgänge im Stieregggraben haben diese Moräne sukzessive destabilisiert. Am 16. Mai 2005 wurden um die Stieregg-hütte herum Risse im Boden entdeckt. Die Kante der Moräne war zu diesem Zeitpunkt noch 80 Meter vom Gebäude entfernt. Die Reifezeit der Rutschung betrug vom Erkennen der ersten Risse bis zum Absturz lediglich 13 Tage: Am 29. Mai 2005 rutschte eine Masse von ca. 650 000 Kubikmetern Gesteins- und Bodenmaterial ab und lagerte sich auf dem darunterliegenden Gletscher ab.

Die Abrisskante lag direkt unter einer Ecke der Hütte, die abzustürzen drohte. Das Gebäude war nicht mehr bewohnbar und wurde abgesperrt. Damit die Gebäudetrümmer später nicht auf dem Unteren Grindelwaldgletscher liegen, wurde die 1952 errichtete Hütte am 3. Juni 2005 von der Feuerwehr kontrolliert abgebrannt.



Situation der Stieregghütte vor (Bild links) und nach (Bild rechts) des Moränenabbruchs 2005

■ Murgang

Murgänge (oder Schlammlawinen) sind ein Gemisch aus Wasser, Geröll, Steinen und Holz, das sich schubweise und schnell ins Tal wälzt. Der Feststoffanteil beträgt dabei bis zu 70 Prozent, was diese Prozessart relativ gefährlich macht. Damit sich Murgänge überhaupt bilden, braucht es neben mobilisierbarem Geschiebe ein steiles Gewässer und starke Niederschläge oder sonstige grosse Wassermassen. Einmal losgelöst, kann ein Murgang sehr viel Material umlagern. Das grösste bekannte neuzeitliche Ereignis im Berner Oberland wurde an der Rotlali bei Guttannen beobachtet: Am 23. August 2005 schüttete ein Murgang mit über 500 000 Kubikmetern Geschiebe die Aare und die Grimselstrasse stellenweise über zehn Meter hoch zu.

Durch auftauenden Permafrost und den Gletscherrückgang nimmt das verfügbare Geschiebe in hochgelegenen und steilen Gebieten künftig stark zu. So dürften Murgänge häufiger und/oder intensiver werden. Steile Gletscherrückzugsgebiete mit viel leicht mobilisierbarem Material können daher über Jahrzehnte oder Jahrhunderte hinweg periglaziale Murgänge auslösen. Sehr grosse Murgänge (Volumen über 100 000 Kubikmeter) können aber nur dort auftreten, wo die Anrisse im Per-

mafrost, in Gletscherrückzugsgebieten mit Lockermaterial oder in glazialen Sedimentdepots liegen. Durch die zurückgehenden Gletscher nimmt die Zahl möglicher Murgang-Anrisse bis ins Jahr 2060 um 15 Prozent zu. Bei entsprechender Topografie können bisher nicht betroffene Gebiete tangiert werden, die jedoch meist fernab von Siedlungen liegen.

Weil periglazial geprägte Gesteins- und Felsflächen vorwiegend im östlichen Teil des Berner Oberlandes vorkommen, ist dort mit mehr Murgängen aus dem periglazialen Raum zu rechnen als im Westen.

Von den rund 22 000 dauernd bewohnten Gebäuden im Studienperimeter sind 5000 (23 Prozent) durch klimabedingte Murgänge potenziell betroffen. Die meisten davon liegen schon heute in einem gekennzeichneten Gefahrengebiet. Die anderen hingegen stehen in Regionen, in denen nicht nur Veränderungen im Gletschervorfeld, sondern auch im Permafrost stattfinden. Gletscherrückzugsgebiete sind selten allein verantwortlich für eine Zunahme der Murgänge: Zwar ist dort viel Geschiebematerial vorhanden, aber diese Gebiete sind grundsätzlich eher flach. Als viel wichtigere Quelle für die Entstehung von Murgängen müssen degradierende Permafrostgebiete angesehen werden.

Prozessräume von Murgangereignissen im Berner Oberland





Ablagerungen der Murgänge von Ende Juli 2015 im Färnelberg in der Gemeinde St. Stephan

→ **Der Spreitgraben: Beispiel eines aktiven Murgang-Gebiets**

Von 2009 bis 2011 traten im Spreitgraben bei Guttannen mehrere sehr grosse Murgänge auf, welche insgesamt über 600 000 Kubikmeter Geschiebe in die Aare verfrachtet haben. Das Einzugsgebiet umfasst rund 4,7 Quadratkilometer und reicht von der Aare-mündung (950 m ü. M.) bis zum Gipfel des Ritzlihorn (3263 m ü. M.) hinauf.

An der vermutlich mit Permafrost durchsetzten Nordflanke des Ritzlihorn ereigneten sich am 17. Juli 2009 bei starkem Regen mehrere Felsstürze, die grosse Gesteinsmassen auf der Schafegg (ca. 2500 m ü. M.) ablagerten. Aus diesen Ablagerungen ergaben sich wiederum mehrere Murgänge in den Spreitgraben. Sie bedrohten im Sommer immer wieder die Strasse, die dadurch periodisch unterbrochen

wurde. Durch die grossen Ablagerungen in der Aare ging kontinuierlich Land verloren, da sich das Gerinnebett um ein Mehrfaches verbreiterte. Zudem führten anwachsende Geschiebeablagerungen dazu, dass ein Wohnhaus und ein Stall abgebrochen werden mussten. Als Folge haben die verantwortlichen Stellen aufwändige bauliche und organisatorische Massnahmen umgesetzt, um die Infrastrukturanlagen (z.B. Kantonsstrasse sowie Hochdruck-Gasleitung und Hochspannungsleitung) besser zu schützen.

Das Beispiel Spreitgraben zeigt exemplarisch auf, wie die Verkettung mehrerer Prozesse zu einem Problem werden kann. Denn der mutmassliche Rückgang von Permafrost am Ritzlihorn löste zunächst den Felssturz aus, ohne den die grossen Murgänge gar nicht stattgefunden hätten.



Der ursprüngliche Aarelauf beim Spreitgraben im Jahr 2009



2009 bis 2011 haben mehrere Murgänge das Flussbett mit Geröll aufgefüllt

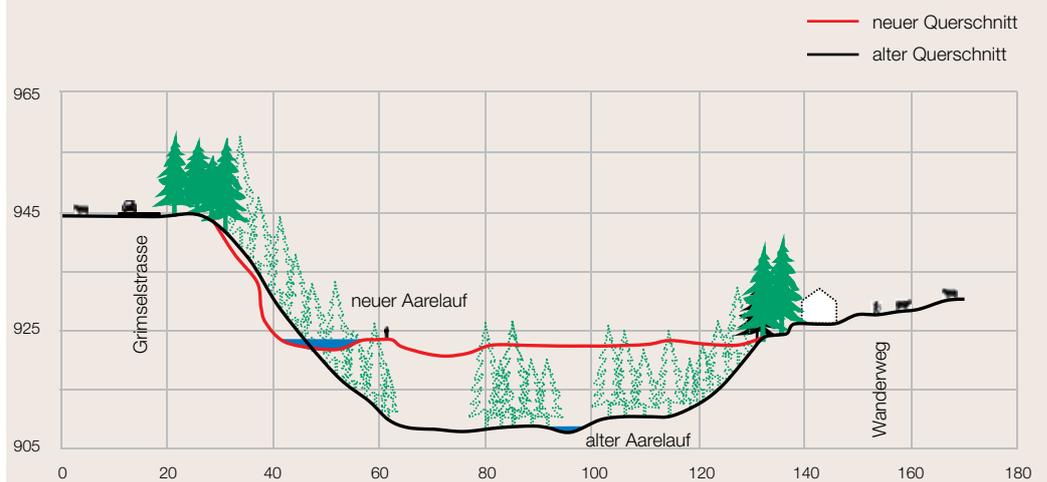
**Murgang
Spreitgraben**



**Schäden durch
Tiefenerosion
bei der Galerie der
Grimselstrasse**



Terrainaufschüttung durch die Murgänge 2009–2011: Die Aaresohle unterhalb des Spreitgrabens liegt heute 15 bis 20 Meter höher als vor den Ereignissen (Blick talabwärts)





Vatseret-Gletschersee auf der
Plaine Morte

■ Hochwasser aus Gletscherseen

Mit dem beschleunigten Gletscherrückgang werden Anzahl und Grösse von Gletscherseen künftig zunehmen. Deren Entwicklung lässt sich über Jahre hinweg beobachten, wodurch gefährliche Situationen frühzeitig erkannt werden können.

Moränendämme, welche Seen aufstauen, bestehen meist aus losem Lockergestein, das teilweise mit Toteis durchsetzt ist. Schmilzt dieses Eis, wird der Damm zusehends poröser und wasserdurchlässiger, was ihn destabilisiert. Als Folge eines kontinuierlich zunehmenden Wasserabflusses kann sich der See schliesslich entleeren. Eine weitere Gefahr stellen Impulswellen dar, die durch eine Eislawine, einen Erdbeben oder durch Fels- und Bergstürze ausgelöst werden und Gletscherseen zum Überschwappen bringen. Sie verursachen ein Hochwasser, das bedeutend grösser sein kann als ein «normales» durch Niederschlag verursachtes. Ausserdem brechen durch Gletschereis gestaute Seen sehr plötzlich aus. Beispielsweise dann, wenn der steigende Wasserspiegel den Eiskörper aufschwimmen lässt und das Wasser unter dem Gletscher hindurch oder durch Spalten und Hohlräume entweicht.

Im Berner Oberland könnten im Zuge der Klimaänderung über 100 neue Seen auf insgesamt 39 Gletschern entstehen. Darunter sind teils auch potenziell sehr grosse Seen. Rund ein Drittel wird voraussichtlich zeitnah (bis 2030) entstehen, ein weiteres Drittel bis ins Jahr 2050 und das letzte Drittel nach 2050. Doch bleibt die Unsicherheit, inwieweit sie sich effektiv ausbilden oder ob sie rasch wieder mit Geröll zugedeckt werden. Darüber hinaus liegen viele dieser potenziellen Gletscherseen weit entfernt von Siedlungsräumen oder Infrastrukturanlagen und werden diese daher nicht oder nur marginal tangieren. Sie können jedoch in einer Prozesskette gefährlich werden, wenn zum Beispiel eine grosse Rutschung einen See zum Überschwappen bringt und so den Wirkungsraum erweitert. Allerdings liegen 27 potenzielle Gletscherseen oberhalb von Stauseen und stellen im Falle eines spontanen Ausbruchs kaum eine Gefahr für unterliegende Siedlungen dar.

Im Rahmen der GHKperiGlazial wurden auch Flutwellenanalysen durchgeführt, jedoch nur für bereits heute bestehende Seen. Das Resultat: Bei allen neun betrachteten Seen kann durch eine Eislawine oder einen Bergsturz eine Flutwelle ausgelöst werden. Das verdrängte Wasservolumen ist aber jeweils relativ klein. Somit ist das Gefahrenpotenzial trotz teilweise extrem hoher Abflussspitzen bescheiden.

Lage der potenziellen Gletscherseen



→ Der Faverges-See:

Beispiel eines Gletschersees

Die Plaine Morte ist der grösste Plateaugletscher der Alpen. Er liegt auf einer Hochfläche südwestlich des Wildstrubels (2800 m ü. M.), auf dem Gebiet der Gemeinde Lenk. Gegen Norden hin ist der Gletscher leicht geneigt und läuft in der schmalen Zunge des Retzligletschers aus. Hier entspringt der Trüebbach, der über mehrere Wasserfälle den steilen Felshang hinunter auf den Retzliberg fliesst und sich dort mit dem Quellwasser der Siebenbrunnen zur Simme vereinigt.

Zwischen 1954 und 2005 hat sich die Fläche des Plaine-Morte-Gletschers um 16 Prozent und sein Volumen um 18 Prozent verringert. Im Jahr 2005 belegte er noch rund 8,4 Quadratkilometer, die Eisdecke war stellenweise bis zu 235 Metern dick. Seit etlichen Jahren haben sich am Gletscherrand verschiedene Seen gebildet. Der grösste von ihnen, der Faverges-See im Südosten der Plaine Morte, bricht seit 2011 regelmässig einmal pro Jahr aus und führt zu Hochwasser in der Simme.

Die Schneeschmelze im Frühling und der Regen sowie die Gletscherschmelze im Sommer füllen das Seebecken. Unter dem Eis bilden sich dann jeweils Abflusskanäle, die immer grösser werden, je mehr Wasser durchfliesst. Dieser Prozess dauert so lange an, bis der See schliesslich leer ist. Im Herbst und Winter gehen diese Kanäle durch die Eisbewegung wieder zu – und das Schauspiel wiederholt sich im nächsten Jahr.

Da Wasser immer wärmer ist als Eis, schmilzt das Seebecken kontinuierlich ab, das Seevolumen wird von Jahr zu Jahr grösser. Dadurch nimmt auch das Ausmass eines möglichen Hochwassers zu. Derzeit liegt dieses unter der Schadensschwelle. Mit dem weiteren Abschmelzen des Gletschers könnte es jedoch in Zukunft für das darunterliegende Tal eine gefährliche Grösse annehmen.



Hochwasser in der Simme
beim Seeausbruch 2013

→ **Stiereggmoräne:**
Beispiel einer Impulswelle

Am 18. Mai 2009 wurden beim Unteren Grindelwaldgletscher frische Anrisse in der Stiereggmoräne entdeckt (siehe Rutschung auf Seite 19). Schon in den Wochen zuvor ereigneten sich kleinere Abbrüche. Die destabilisierte Moränenmasse betrug zwischen 500 000 und 800 000 Kubikmetern. Das alarmierte die Verantwortlichen. Sie mussten davon ausgehen, dass diese Gesteinsmasse bei einem Absturz in den See Wellen von bis zu 17 Metern Höhe auslösen und zu einem Überschwappen des damals fast randvollen Gletschersees führen würde. Da der seeaufstauende, natürliche Damm aus Lockermaterial und Eis bestand, hätte eine Erosion zudem eine grössere Bresche schlagen können, was den Gletschersee teilweise entleert hätte.

Der Hauptabbruch fand schliesslich am 22. Mai 2009 gegen Abend statt. Da die Moräne in einzelnen Portionen abbrach, erreichten die Wellen nur Höhen von rund zehn Metern. Der Damm wurde somit nicht überströmt.

Vergleichbare Rutschungen an der Stiereggmoräne sind nach wie vor möglich. Durch den neu gebauten Stollen und den rückläufigen Gletscher weist der See auf dem Unteren Grindelwaldgletscher heute aber eine kleinere Ausdehnung auf als noch 2009. Dadurch ist das Gefahrenpotenzial für das Tal aktuell nicht mehr vorhanden.

**Eintauchen der Rutschmasse
in den Gletschersee**



**Wellenbildung im Gletschersee
nach dem Abtauchen der
Moränenmasse im See**



→ Die bestehenden Gefahrenkarten sind robust

Die vorhandenen Gefahrenkarten müssen aufgrund des heutigen Wissens nicht angepasst werden. Denn die meisten Flächen im Siedlungsbereich, die durch Prozesse aus dem periglazialen Raum betroffenen werden können, sind bereits heute in der Gefahrenkarte ausgeschieden. Trotz aller Sorgfalt, mit welcher die Studie erstellt wurde, können zukünftige Überraschungen aber nicht ausgeschlossen werden. Deshalb ist es wichtig, dass die weitere Entwicklung des periglazialen Raums aufmerksam verfolgt wird. Dazu liefert die GHKperi-Glazial eine wichtige Grundlage. Sie hilft, diese sensiblen Gebiete räumlich einzugrenzen und deren Entwicklung gezielt zu beobachten.

→ Beim Murgang sind die grössten Veränderungen zu erwarten

Die durch Sturzprozesse am stärksten betroffenen Gebiete liegen in unmittelbarer Umgebung des Permafrosts, da die Reichweite der Sturzprozesse nicht so gross ist. Das Gleiche gilt für die Rutschprozesse. Bei Murgängen sind hingegen in einzelnen Einzugsgebieten Veränderungen möglich, die zu massiv grösseren Geschiebeverlagerungen führen können. Gleichzeitig nimmt die Zahl potenzieller Murgang-Anrissbereiche in Gletscherrückzugsgebieten und Gebieten mit degradierendem Permafrost zu. Beim Murgang sind somit insgesamt die grössten Veränderungen zu erwarten.

→ Die Geschiebefracht in den Gewässern nimmt zu

Rutsch-, Sturz- und Murgangprozesse werden in Zukunft zu einem viel grösseren Geschiebeangebot in Wildbächen und Gebirgsflüssen führen. Dadurch nimmt die Geschiebefracht zu, was flussabwärts bei Flachstrecken oder Schwachstellen zu Problemen führen kann.

→ Beispiel Oberer Grindelwaldgletscher

Ende August 2011 nahm die Geschiebefracht aus dem Oberen Grindelwaldgletscher schlagartig und massiv zu. Es war eine Phase ohne Niederschläge, aber mit sehr hohen Temperaturen und entsprechend hohem Schmelzwasseranfall. Innerhalb von fünf Tagen wurden aus dem Gletscher und durch Erosionen im Gerinne 100 000 Kubikmeter Geschiebe in den Talboden von Grindelwald ausgetragen. Dank der Intervention mit Baggern konnte verhindert werden, dass die Lutschine komplett verlandete und so Landwirtschaftsland und Gebäude überschwemmt worden wären.



→ Die Gletscher verändern sich

Ein Grossteil der Gletscher wird bis Ende des 21. Jahrhunderts verschwunden sein. Mit den beschleunigten Veränderungen der Gletscher wird die Anzahl an Gletscherseen zunehmen. Steile Gletscher verlieren an Stabilität, was zu mehr Eisabbrüchen führen kann. Die Entwicklung kann aber auch heutige Gefahrenquellen eliminieren: Wenn der Gletscherrückzug zum Abschmelzen des Eises in steilen Partien führt, können dort künftig keine Eislawinen mehr auftreten.

→ Nordexpositionen sind stärker betroffen als Südexpositionen

In nordexponierten Lagen sind generell grössere Veränderungen zu erwarten als in südexponierten, weil an Nordseiten der Permafrost heute bis in tiefere Lagen reicht und daher der Erwärmung stärker ausgesetzt ist.

→ Die Hauptveränderungen geschehen fernab der Siedlungen

Im Berner Oberland können das Gebiet um Kandersteg, das Haslital sowie die hinteren Lüttschinentäler als die am stärksten betroffenen Regionen bezeichnet werden. Sehr viele Veränderungen laufen dort aber weit entfernt von den Siedlungsräumen ab und erreichen daher kaum Schadenpotenzial. Deshalb darf die mögliche Entwicklung nicht dramatisiert werden. Aus heutiger Sicht ist nicht absehbar, dass ganze Siedlungen im Berner Oberland durch die Folgen der Klimaänderung bedroht wären. Lokal können sich jedoch grosse Herausforderungen stellen, wenn beispielsweise eine Häufung von Murgängen wichtige Verkehrsverbindungen gefährdet oder Gletscherseen zu häufigeren und intensiveren Hochwassern führen.



Strubel-Gletschersee auf der
Plaine Morte

Die Studie sorgt dafür, dass potenziellen Konfliktstellen grössere Aufmerksamkeit geschenkt wird und bereits kleine Veränderungen hellhörig machen, bevor die ganz grossen Ereignisse auftreten. Handlungsbedarf entsteht in den allermeisten Fällen erst dann, wenn Veränderungen beobachtet werden. Dann bietet die GHKperiGlazial gute Grundlagen für weitere Abklärungen.

Um mit den Herausforderungen im Periglazialgebiet erfolgreich umzugehen, müssen – wie bei Naturgefahren üblich – sämtliche Akteure effizient zusammenarbeiten. Allen voran sind die kommunalen oder lokalen Sicherheitsverantwortlichen und die kantonalen Fachstellen in der Pflicht: Sie sollen ihr Wissen und ihre Erkenntnisse regelmässig untereinander austauschen. Dabei spielt auch das Monitoring eine tragende Rolle, also die systematische Erfassung und Beobachtung des Zustands der Einzugsgebiete und der darin ablaufenden Gefahrenprozesse. Ein Monitoring ist wiederholt und regelmässig durchzuführen, um zuverlässige Schlussfolgerungen ziehen zu können. Verläuft ein beobachteter Prozess nicht wie erwartet bzw. über- oder unterschreitet er bestimmte Schwellenwerte, greifen die Verantwortlichen mit geeigneten Massnahmen ein. Der Hauptwert der GHKperiGlazial besteht darin, dass die Gebiete, in denen ein Monitoring sinnvoll ist, erkannt und priorisiert werden können.

In Gebieten, in denen sich risikoträchtige Veränderungen abzeichnen, müssen lokale Gefahrenbeurteilungen vorgenommen werden. Sie schaffen die Grundlagen, um entscheiden zu können, ob Schutzmassnahmen notwendig sind und welcher Art diese sein sollen.

■ Arten des Monitorings

Zustands-Monitoring

Das Zustands-Monitoring überwacht systematisch die Grunddisposition von Gefahrenprozessen im periglazialen Bereich. Die gesammelten Daten betreffend Gletscher und Permafrost helfen den verantwortlichen Stellen, die beobachteten Entwicklungen zu verstehen und daraus Aussagen zum weiteren Verlauf zu formulieren. Das Monitoring erfolgt jedoch nicht flächendeckend, sondern konzentriert sich auf ausgewählte, für bestimmte Einzugsgebietstypen und Gefahrenprozesse repräsentative Regionen. Es beinhaltet eine grossräumige Zustandsanalyse der Gletscher resp. des Permafrosts im Berner Oberland. Im Zusammenhang mit dem Permafrost interessieren vor allem, wie sich die Permafrostgebiete räumlich entwickeln und wie sich die Mächtigkeit der Auftauschicht im Zeitverlauf verändert. Bezüglich der Gletschervorkommen liegt das Augenmerk darauf, wie schnell sich die Gletscher zurückziehen und wie gross das Geschiebepotenzial in Gletscherrückzugsgebieten ist.

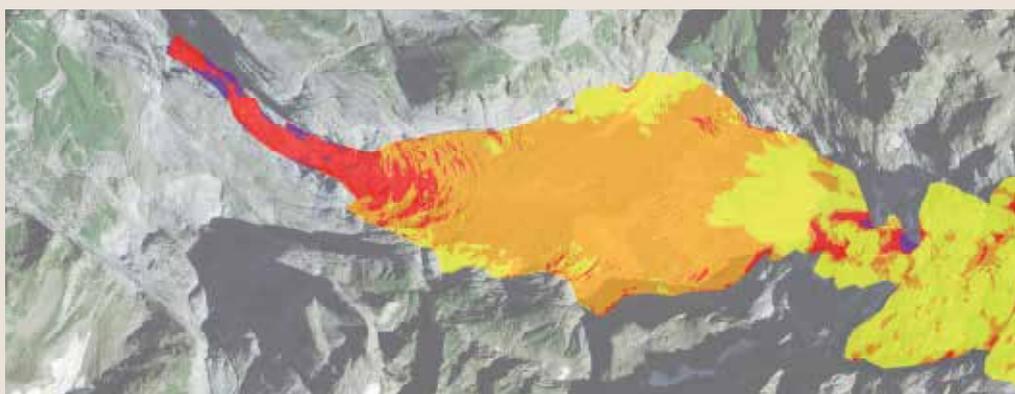
→ Beispiel Zustands-Monitoring Oberer Grindelwaldgletscher

Der Obere Grindelwaldgletscher ist im schweizerischen Gletschermessnetz erfasst. Jährlich werden von seinem Gebiet ein Luftbild und ein Höhenmodell erstellt. Durch den Vergleich der Aufnahmen von Jahr zu Jahr kann seine Entwicklung verfolgt werden. Mit solchen Auf-

nahmen können bei Gletschern Längen- und Dickenänderungen erfasst und die Freilegung grosser Schuttflächen oder die Bildung neuer Seen erkannt werden. Nicht in jedem Fall sind dazu Luftbilder nötig. Der Zustand der Gletscher kann auch durch periodische Begehungen beurteilt werden.

Verlust an Eismächtigkeit zwischen 2009 und 2011

- über 40 m
- 30 bis 40 m
- 20 bis 30 m
- 10 bis 20 m
- 5 bis 10 m
- bis 5 m



Beobachtet wird zudem, wo neue Seen auf, an oder vor Gletschern entstehen und ob sich in deren Umfeld Instabilitäten (z.B. labile Moränen) abzeichnen.

Das Zustands-Monitoring fällt dem Kanton zu und wird von der Abteilung Naturgefahren des Amts für Wald betrieben. Diese tauscht die erhobenen Daten regelmässig mit dem kantonalen Tiefbauamt aus und hält auch die betroffenen Gemeinden auf dem Laufenden.

Gefahren-Monitoring

Das Gefahren-Monitoring konzentriert sich auf bestimmte Gefahrenquellen, die innerhalb kurzer Zeit gefährliche Prozesse hervorbringen können oder bereits hervorgebracht haben. Diese Art des Monitorings entspricht einem Frühwarnsystem. Sobald bestimmte Gefahrenquellen aktiv werden, leiten die jeweiligen Sicherheitsverantwortlichen allfällig notwendige Überwachungsmaßnahmen ein. Je nach Gefahren- und möglichem Schadenpotenzial sind dafür technische Überwachungen notwendig. Zuständig für das Gefahren-Monitoring sind die Gemeinden resp. die sicherheitsverantwortlichen Stellen. Die kantonalen Fachstellen leisten dabei Unterstützung.

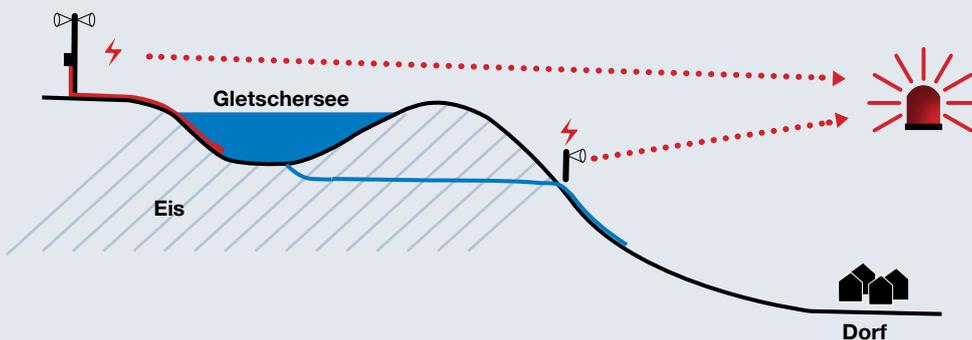
Ereignis-Monitoring

Seit Jahren erfasst die Abteilung Naturgefahren des Amts für Wald in einem Ereigniskataster systematisch alle Ereignisse von gravitativen Naturgefahren. Neue Ereignisse werden dahingehend beurteilt, ob ihr Auslöser oder Prozessablauf durch Veränderungen im Gletscher- oder Permafrostbereich hervorgerufen wurden. Ist dies der Fall, so wird zusammen mit der sicherheitsverantwortlichen Stelle abgeklärt, ob weitere Untersuchungen notwendig sind.

→ Beispiel Gefahren-Monitoring Faverges-Gletschersee

Aufgrund der jährlich wiederkehrenden Entleerung des Faverges-Gletschersees auf der Plaine Morte, hat die Gemeinde Lenk ein Frühwarnsystem auf dem Gletscher eingerichtet, welches den Sicherheitsverantwortlichen erlaubt, den Zustand des Sees kontinuierlich

zu überwachen. Dieses System erzeugt auch einen Alarm an die Sicherheitsverantwortlichen, so dass diese über einen bevorstehenden Seeausbruch informiert werden und dadurch rechtzeitig vorsorgliche Massnahmen wie das Absperren gefährdeter Wanderwegabschnitte veranlassen können.





Faverges-Gletschersee auf
der Plaine Morte

Glossar

Abflussspitze: Grösste Wassermenge, die pro Zeiteinheit einen Abflussquerschnitt passiert.

Anrisskante: Bereich, in welchem ein Prozess (z.B. Rutschung) seinen Ursprung hat.

Auftauschicht: Die Auftauschicht ist derjenige Bereich der Bodenoberfläche im → Permafrost, der im Sommerhalbjahr auftaut. Deren → Mächtigkeit beträgt je nach Standort bis zu einige Meter.

Ausapern: Unter Ausapernung wird das Abschmelzen der Schnee- und Eisdecke verstanden, so dass der darunterliegende Boden ganz oder teilweise zu Tage tritt.

Degradation (von Permafrost): Permafrost-Degradation ist die Zustandsverschlechterung des → Permafrosts. Sie zeigt sich in erster Linie durch eine Zunahme der → Mächtigkeit der → Auftauschicht, welche sich mit der Zeit nicht mehr regenerieren, d.h. im Winter vollständig zufrieren kann.

Diskontinuitäten: Trennfläche innerhalb eines Gesteins.

Fluviale Prozesse: Prozesse, die durch fließendes Wasser geprägt sind. Der Gegensatz dazu sind → Murgangprozesse, bei denen nicht das Wasser, sondern das Geschiebe das prägende Element ist.

Gefahrenhinweiskarte: Einfache Übersichtskarte, welche mit Computermodellierungen grob darüber Auskunft gibt, wo und welche Prozesse in einem bestimmten Gebiet auftreten können.

Gefahrenkarte: Detaillierte Karte, die für ein bestimmtes Gebiet genaue Aussagen dazu macht, welche Prozesse auftreten, wie stark sie wirken und wie häufig sie auftreten.

Geschiebe: Geschiebe ist Gesteinsmaterial, das durch Gletscher oder Gewässer transportiert wird.

Geschiebekubatur: Volumen des durch einen Gletscher oder ein Gewässer transportierten Gesteinsmaterials.

Gleichgewichtslinie (Gletscher): Die Gleichgewichtslinie ist eine Höhengrenze beim Gletscher, welche das obenliegende Nährgebiet (Eiszuwachs grösser als Eisverlust) vom untenliegenden Zehrgebiet (Eisverlust grösser als Eiszuwachs) trennt.

Gletschervorfeld: Als Gletschervorfeld bezeichnet man das Gebiet zwischen dem aktuellen Gletscher- rand und den Moränen, die den letzten Höchststand markieren. Das Gletschervorfeld ist meist von → Geschiebe geprägt und spärlich an Vegetation.

Grundrauschen: Das Grundrauschen ist bei Naturgefahren die normale Aktivität resp. Häufigkeit von Ereignissen.

Hydraulischer Grundbruch: Als hydraulischer Grundbruch wird ein Vorgang bezeichnet, bei dem es durch strömendes Wasser im Boden oder in einem Damm zu einem plötzlichen Versagen kommt.

Impulswelle: Stürzen grosse Massen an Gestein oder Eis in einen See, so verdrängen diese Wasser, welches in Form einer Impulswelle tsunamartig aus dem See austritt und im darunterliegenden Gewässer ein Hochwasser erzeugt.

Klippengletscher: Gletscher in einem flachen Abschnitt einer Felswand. Der Eisverlust findet bei Klippengletschern nicht primär durch das Schmelzen von Eis statt, sondern durch den periodischen Abbruch des vordersten Gletscherteils, wenn dieser durch die Fließbewegung des Gletschers über den Klippenrand in eine steile Felspartie abgestossen wird.

Klüfte: Klüfte sind Trennflächen im Gestein.

Mächtigkeit: Die Mächtigkeit bezeichnet in der Geologie die Dicke einer Schicht.

Monitoring: Regelmässige und systematische Erfassung, Beobachtung oder Überwachung des Zustands eines Gebiets. Durch Vergleiche mit vorangehenden Aufnahmen können Veränderungen erkannt werden.

Murgang: Schnell fließendes Gemisch von Geschiebe und Wasser, wobei das Geschiebe klar dominiert. Schlammlawine, Erdlawine oder Rufe sind andere Begriffe für Murgang.

Periglazial: Periglazial (zusammengesetzt aus Griechisch peri, «um, herum» und Lateinisch glacies, «Eis») bezeichnet Gebiete, die bisher vergletschert waren oder → Permafrost aufweisen.

Permafrost: Boden (Fels oder Lockergestein), der ab einer gewissen Tiefe das ganze Jahr über gefroren ist.

Proglazialer See: See in einem → Gletschervorfeld

Rampengletscher: Hängegletscher in einem steilen Geländeabschnitt.

Runsen: Zeitweise wasserführender Einschnitt im Gelände.

Schadenpotenzial: Gesamtheit der möglichen Schäden durch einen gefährlichen Prozess in einem betrachteten Gebiet.

Toteis: Als Toteis bezeichnet man Gletschereis, das mit dem aktiven Gletscher nicht mehr verbunden ist, sich infolgedessen auch nicht mehr bewegt und meist mit Sedimenten bedeckt ist.

Wasserdruck: Wasserdruck ist der hydrostatische Druck des Wassers. Mit zunehmender Wassertiefe steigt der resultierende Druck.

Ansprechpartner

Amt für Wald des Kantons Bern (KAWA)
Abteilung Naturgefahren
Schloss 2
3800 Interlaken
Tel. 033 826 42 70
naturgefahren@vol.be.ch
www.be.ch/naturgefahren

Tiefbauamt des Kantons Bern (TBA)
Oberingenieurkreis I Oberland
Postfach
3602 Thun
Tel. 033 225 10 60
info.tbaoik1@bve.be.ch

IMPRESSUM

Herausgeber: AG NAGEF – Arbeitsgruppe Naturgefahren des Kantons Bern

Grundlagen: Abteilung Naturgefahren/Oberingenieurkreis I 2015: GHKperiGlazial – Gefahrenabklärung hochalpiner Prozesse durch Veränderungen im periglazialen Bereich des Berner Oberlandes, Schlussbericht. Arbeitsgemeinschaft Geotest AG, Zollikofen und geo7 AG, Bern.

Redaktion: Egger Kommunikation Bern,
Nathalie Maring

Grafik: Renata Hubschmied, Bern

Bilder: Editorial, Bruno Stüdle/Berner Oberländer;
Kartengrundlagen: Bundesamt für Landestopografie;
Daniel Bürki, Guttannen (S. 23 oben); Hansruedi Burgener,
Lütschental (S. 27); Leo Wicki, Zürich (S. 17 oben)

Druck: Jost Druck AG, Hünibach

Auflage: 3000 Exemplare

Bezugsquelle: Amt für Wald (KAWA),
Abteilung Naturgefahren, naturgefahren@vol.be.ch
Interlaken, September 2015



WARNTAFEL / MISE EN GARDE / WARNING

BEI DER WARTUNG DER STRASSENKANTENSTREIFEN
Bei der Wartung der Kantenschutzstreifen ist zu beachten, dass die Kantenschutzstreifen nicht zu hoch aufgetragen werden dürfen. Ein zu hoher Kantenschutzstreifen kann zu einem erhöhten Unfallrisiko führen. Die Kantenschutzstreifen müssen so aufgetragen werden, dass sie den Verkehrssicherheitsanforderungen entsprechen.

BEI DER WARTUNG DER STRASSENKANTENSTREIFEN
Bei der Wartung der Kantenschutzstreifen ist zu beachten, dass die Kantenschutzstreifen nicht zu hoch aufgetragen werden dürfen. Ein zu hoher Kantenschutzstreifen kann zu einem erhöhten Unfallrisiko führen. Die Kantenschutzstreifen müssen so aufgetragen werden, dass sie den Verkehrssicherheitsanforderungen entsprechen.

BEI DER WARTUNG DER STRASSENKANTENSTREIFEN
Bei der Wartung der Kantenschutzstreifen ist zu beachten, dass die Kantenschutzstreifen nicht zu hoch aufgetragen werden dürfen. Ein zu hoher Kantenschutzstreifen kann zu einem erhöhten Unfallrisiko führen. Die Kantenschutzstreifen müssen so aufgetragen werden, dass sie den Verkehrssicherheitsanforderungen entsprechen.

BEI DER WARTUNG DER STRASSENKANTENSTREIFEN
Bei der Wartung der Kantenschutzstreifen ist zu beachten, dass die Kantenschutzstreifen nicht zu hoch aufgetragen werden dürfen. Ein zu hoher Kantenschutzstreifen kann zu einem erhöhten Unfallrisiko führen. Die Kantenschutzstreifen müssen so aufgetragen werden, dass sie den Verkehrssicherheitsanforderungen entsprechen.

BEI DER WARTUNG DER STRASSENKANTENSTREIFEN
Bei der Wartung der Kantenschutzstreifen ist zu beachten, dass die Kantenschutzstreifen nicht zu hoch aufgetragen werden dürfen. Ein zu hoher Kantenschutzstreifen kann zu einem erhöhten Unfallrisiko führen. Die Kantenschutzstreifen müssen so aufgetragen werden, dass sie den Verkehrssicherheitsanforderungen entsprechen.