

Bergstürze und Klima in den Alpen - gibt es Zusammenhänge?

Ueli Gruner¹

Stichworte: Bergsturz, Felssturz, Klima, Klimaerwärmung, Temperaturwechsel, Holozän

Zusammenfassung

Im Verlaufe des Rückzuges der Gletscher nach der letzten Eiszeit kam es im Alpenraum infolge Hangentlastung zu vielen Bergstürzen. Datierungen von zahlreichen Ereignissen ergaben, dass diese nicht, wie früher verbreitet angenommen, am Ende der letzten Eiszeit im Rahmen der ersten Erwärmungsperiode niedergingen, sondern erst im Verlaufe des Holozäns. Einige wenige dieser Stürze ereigneten sich in eher wärmeren Zeiten, die meisten fanden jedoch in eher kälteren Perioden mit vorstossenden Gletschern statt. In der markantesten holozänen Warmphase, dem so genannten Klimaoptimum, sind allerdings keine Stürze datiert. Offenbar dauerte der «Reifeprozess» von der Hangentlastung bis zum Sturz bei vielen Ereignissen relativ lang, unter Umständen mehrere Jahrtausende oder mehrere Klimawechsel. Die Ursachenanalyse von historischen Bergstürzen der letzten 2000 Jahre ergibt, dass eine Mehrzahl derselben durch Regen oder lang anhaltende Nassperioden ausgelöst wurden. Solche Feuchtzeiten traten sowohl in kälteren als auch in wärmeren Klimaperioden auf. In der ausgesprochen kalten Periode der «Kleinen Eiszeit» waren Bergstürze vorerst noch eher selten. Erst die nach 1850 eingetretene Erwärmung bewirkte eine Zunahme von Ereignissen. Die seither noch akzentuierter eingetretene Klimaerwärmung mit den sich stark zurückziehenden Gletschern lässt allerdings keine weitere Zunahme von Stürzen erkennen. Ohnehin sind solche Ereignisse eher seltene Phänomene, welche im Alpenraum nur ungefähr alle 5-10 Jahre auftreten.

Abstract

During the withdrawal of alpine glaciers after the last glaciation, various rock avalanches occurred due to the deconsolidation of slopes. The dating of various events gives evidence for Holocene age, and not for an occurrence at the end of the last glaciation, at the onset of the first warming. Some of these events occurred in warm, others happened in cooler periods in the context of spreading glaciers. However, for the most striking phase of holocene warming, the so-called climate optimum, no rock avalanches have been detected. It is thought, that the process of maturity is long lasting, possibly thousands of years or even several changes of climate. From the analysis of historic rock avalanches during the last 2000 years it can be derived, that many events had been triggered by rain or long periods of wetness. Phases of wetness occurred in cooler as well as in warmer climatic periods. During the marked coldness of the so-called «small ice-age» rock avalanches had rather been seldom. The number of events increased clearly at the onset of warming after 1850. Till now, the more and more accentuated warming of climate displays no increase in rock avalanches. Anyway, this sort of event is rather rare. In the alpine realm, it only happens once within a span of approximately 5-10 years.

1. Einleitung

Bergstürze faszinieren: Einerseits natürlich, wenn man den Sturzprozess - was wohl nur sehr wenigen Menschen vergönnt ist - direkt beobachten kann. Andererseits aber auch, wenn man die vielen «stummen» Zeugen der zum Teil historisch dokumentierten Bergstürze im Alpenraum sieht, welche auf die gewaltigen Naturprozesse hinweisen.

¹ Kellerhals + Haefeli AG, Kapellenstrasse 22, 3011 Bern, ueli.gruner@k-h.ch

Angesichts der weiter andauernden Klimaerwärmung interessiert die Frage, ob Klimavariationen in den Jahrtausenden seit der letzten Eiszeit Rückschlüsse bzw. Zusammenhänge auf die Häufigkeit von Bergstürzen ermöglichen. Zu einem solchen Vergleich können einerseits die zahlreichen, von Chronisten aufgeführten Stürze der letzten 2000 Jahre herangezogen werden. Andererseits sollen auch ältere, prähistorische Ereignisse berücksichtigt werden, von denen seit relativ kurzer Zeit Altersdatierungen bestehen.

2. Bergsturzereignisse

2.1 Definition von Bergstürzen

Abele hat in seiner grundlegenden Arbeit über Bergstürze im Alpenraum eine Definition eines Bergsturzes vorgelegt, die wir - leicht abgeändert - auch für die vorliegende Studie verwenden (Abele 1974):

Bergstürze sind Fels- und Schuttbewegungen, welche mit grosser Geschwindigkeit (innerhalb Sekunden, Minuten) aus Bergflanken niedergehen und ein Volumen von über 1 Mio. m³ aufweisen.

Bereits Abele (1974) hat festgestellt, dass die Einschätzung der Bergsturzkubaturen manchmal spekulativ ist, so dass vor allem bei kleineren Sturzablagerungen eine Zuteilung zu einem solchermassen definierten Bergsturz recht schwierig sein kann.

Nicht näher beleuchtet werden hier die verschiedenen Sturzmechanismen anlässlich eines Bergsturzes. Vor allem bei den vielen älteren spätglazialen Sturzereignissen fehlen (noch) meistens eingehende Ereignisanalysen. In der Literatur ist bei diesen Stürzen vielfach nur eine grobe und vereinfachende Beschreibung des Sturzmechanismus zu finden (z. B. Bergsturz, Berggleitung, Felsrutschung, Schlipfsturz, Sturzstrom).

2.2 Literatur

Die Zusammenstellung bzw. Auswertung der Bergsturzereignisse basiert im Wesentlichen auf der folgenden Literatur: Heim (1932), Montandon (1933), Cadisch (1970), Abele (1974), Eisbacher & Clague (1984).

Eine Reihe von Ereignissen stammt aus eigenen Recherchen (Literatur, Archive etc.).

Bei der Auswahl beschränkten wir uns auf die spätglazialen und jüngeren Ereignisse. Diesbezüglich konnten rund 230 Bergstürze aus dem gesamten Alpenraum bestimmt und ausgewertet werden.

3. Verteilung der Bergstürze in Bezug auf Alter, Lithologie und Kubaturen

3.1 Alter

Bei den ausgewählten spätglazialen und jüngeren Bergsturzereignissen wurde in Bezug auf das Alter die folgende Unterteilung vorgenommen:

Spätglazial

In dieser Kategorie sind Bergstürze aufgeführt, welche gemäss Literaturangaben noch vor dem Ende der letzten Eiszeit niedergingen. Insgesamt handelt es sich um rund 130 Stürze. Diese Anzahl dürfte im Verlaufe der Zeit im Rahmen von weiteren Forschungen und Untersuchungen sicher noch grösser werden.

Postglazial

Es sind dies Bergstürze, die sich zwischen dem Ende der letzten Eiszeit (vor ca. 11'300 Kalenderjahren) und dem Jahr 2000 vor heute ereigneten. Dazu gehört auch eine grössere Anzahl von Stürzen, welche in den letzten Jahren und Jahrzehnten mit verschiedenen Methoden datiert werden konnten (so genannte «prähistorische» Bergstürze; vgl. auch Kapitel 4). Total umfasst diese Kategorie 33 Stürze. Es ist zu erwarten, dass auch diese Anzahl in den nächsten Jahren dank

weiteren Datierungen erhöht wird, vermutlich auf «Kosten» der spätglazialen Ereignisse.

Historisch

Gemäss den zur Verfügung stehenden Chroniken gab es zwischen Christi Geburt und dem Beginn des 21. Jahrhunderts rund 70 Bergstürze. Vor allem bei sehr frühen Ereignissen (im 1. Jahrtausend nach Christus) sind die Angaben über die Kubaturen sehr vage, so dass nicht immer klar ist, ob sie der oben aufgeführten Definition entsprechen und welcher Grössenklasse sie gemäss Fig. 1 zuzuordnen sind.

3.2 Kubaturen und Lithologie

In Fig. 1 sind die Bergstürze der drei Alterskategorien in Bezug auf Kubaturen und Lithologie unterteilt. Daraus geht das Folgende hervor:

- Aus dem Spätglazial sind vier und aus dem Postglazial acht Grossereignisse von > 500 Mio. m³ Material bekannt. In historischen Zeiten, also seit rund 2000 Jahren, hat sich kein Bergsturz von dieser Grössenordnung mehr in den Alpen ereignet.

- Rund 2/3 aller Stürze ereigneten sich in Sedimentgestein (vorwiegend Kalke und Dolomite) und rund 1/3 in kristallinem Gestein. Der Bergsturz von Köfels ist mit rund 2'500 Mio. m³ der weitaus grösste Kristallin-Bergsturz (Heuberger 1994).

Die grössten Bergstürze der Alpen sind in Tab. 1 zusammengestellt. Bei fünf der sieben aufgeführten Ereignisse konnte mit unterschiedlichen Verfahren (Kap. 4) das ungefähre Alter des Sturzes bestimmt werden.

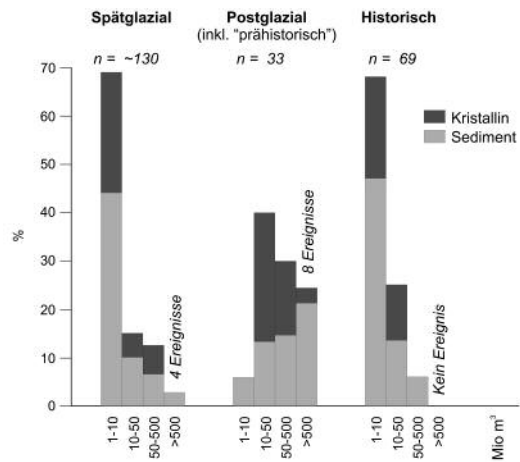


Fig. 1: Unterteilung der Bergstürze in Bezug auf Alter, Kubatur und Lithologie.

Ort	Kubatur (Mio m ³)	Gestein	Alter (cal yr BP)*
Flims (CH)	ca. 7'000 - 11'000	Sediment	ca. 9'200 - 9'100 ¹⁾
Köfels (A)	ca. 2'500	Kristallin	ca. 9'800 ²⁾
Sierre (CH)	> 2'000	Sediment	postglazial ?
Engelberg (CH)	ca. 1'500 - 2'000	Sediment	postglazial ?
Tamins (CH)	ca. 1'600	Sediment	ähnlich Flims, evtl. etwas älter ³⁾
Fernpass (A)	ca. 1'000	Sediment	ca. 4'150 ⁴⁾
Kandersteg (CH)	ca. 900	Sediment	ca. 9'600 - 9'100 ⁵⁾

*Altersangaben: Es handelt sich um Kalenderjahre vor heute (BP = 1950; bei ¹⁴C-Bestimmungen: kalibrierte Werte = cal yr BP).

Die Altersdaten stammen von: ¹⁾ Poschinger et al. (2006), ²⁾ Poschinger (2002); ³⁾ Ivy-Ochs in Poschinger (2005); ⁴⁾ Ostermann et al. (2006); ⁵⁾ Tinner et al. (2005).

Tab. 1: Zusammenstellung der grössten Bergstürze der Alpen (Situation vgl. Fig. 2).

4. Geografische Verteilung der Bergstürze

Die geografische Verteilung der rund 230 Bergstürze ist auf der Fig. 2 zu finden. Die Ereignisse sind eingeteilt nach Alterskategorie, Kubatur (ohne die kleinen spätglazialen Stürze < 10 Mio. m³) und Lithologie. Ergänzend dazu sind auch die Gebiete mit Jahresniederschlägen von über 1'600 mm/Jahr dargestellt (Angaben aus dem Hydrologischen Atlas der Schweiz). Daraus geht folgendes hervor:

- Ein Grossteil der Bergstürze > 500 Mio. m³ hat sich in der Schweiz ereignet und zwar ausschliesslich im Kalkgestein.
- In einigen Gebieten wie z. B. in den Ostschweizer Alpen (Glarus/Graubünden) oder im Gebiet Fernpass/Köfels (A) ist eine Konzentration von Sturzereignissen festzustellen.

- Die bereits im Kapitel 3.2 erwähnte lithologische Verteilung ist auch auf der Fig. 2 ersichtlich: Die Sturzereignisse in der Schweiz ereigneten sich schwergewichtig in den Kalk-Decken nördlich des Aar- bzw. Gotthardmassives und in den kristallinen Decken im Tessin. In Österreich ist eine Häufung der Stürze in den nördlichen bzw. südlichen Kalkalpen erkennbar. Die Dominanz von Stürzen in Gebieten mit massigen Kalksedimenten dürfte auf die strukturelle Disposition dieser Gesteine zurückzuführen sein: Die eher geringe Dichte an Klufflächen führt dazu, dass sich bei einer Hangentlastung eine erste Instabilität einstellt, welche jedoch nicht bald, wie beim kristallinen Gestein mit einer grösseren Dichte von Trennflächen, zu kleineren Abstürzen führt. Erst bei einer massiven Übersteilung stürzt das

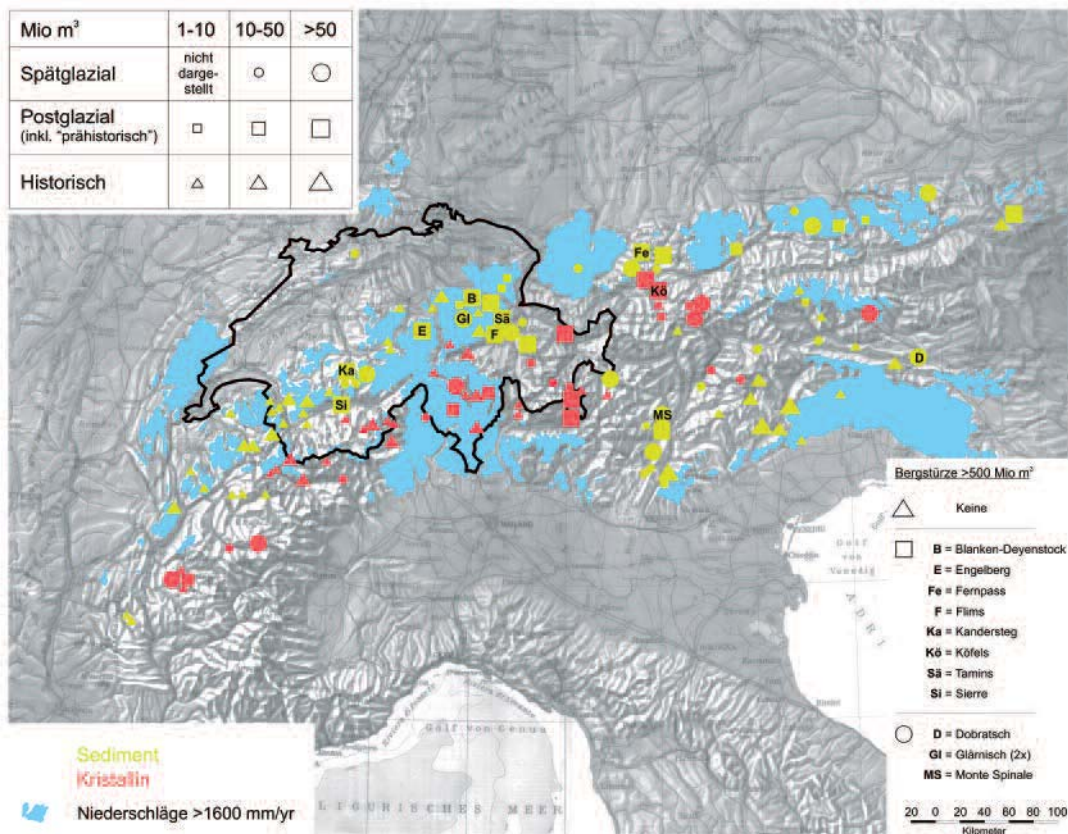


Fig. 2: Verteilung der Bergstürze im Alpenraum (Erläuterungen im Text).

Material mit häufig grossen Kubaturen zu Tal, wobei oft auch ein talwärts gerichtetes Schichtfallen diesen Mechanismus unterstützt.

- Auch wenn die heutige Niederschlagsverteilung nicht mit derjenigen von früheren Klimaperioden übereinstimmen muss, so zeigt Fig. 2 doch andeutungsweise, dass ein Grossteil der Sturzereignisse in der Schweiz mit dieser starken, jährlichen Niederschlagsmenge übereinstimmt. In den Ostalpen ist eine solche Korrelation nicht direkt gegeben.

5. Bergstürze und Klima seit der letzten Eiszeit

Mehrere Bergstürze in den Alpen, welche früher zum Spätglazial oder zum frühen Postglazial gezählt wurden, konnten in der letzten Zeit mittels ^{14}C -Bestimmungen (Radiokarbon-Analyse) datiert werden und erweisen sich dabei als wesentlich jünger als angenommen. Seit kurzem können auch Altersbestimmungen mittels Analysen der Oberflächen-Expositionsalter von ^{36}Cl (Taminser Bergsturz; Ivy-Ochs in Poschinger 2005) und mittels der $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Methode (Kalkzement einer Bergsturz-Breccie des Fernpass-Bergsturzes; Ostermann et al. 2006) durchgeführt werden.

Vom Beginn des Holozäns vor rund 11'300 Jahren bis in das Jahr 2000 vor heute konnten bisher 13 Bergstürze datiert werden, welche hier, wie erwähnt, als «prähistorisch» bezeichnet werden. Die auf der Fig. 3 angegebenen Alterswerte stellen Kalenderjahre vor heute dar (bei ^{14}C : kalibrierte Werte = cal yr BP). Die Sturzereignisse werden auf dieser Figur mit verschiedenen anderen datierten Klimaindikatoren (Gletscherverlauf) sowie mit Perioden erhöhter Rutschaktivität in der Schweiz (Dapples et al. 2003) verglichen. Dabei sind folgende Zusammenhänge erkennbar:

- Ein Grossteil der aufgeführten Bergstürze dürfte im Spätglazial, d.h. zu Beginn des Gletscherrückzuges, stattgefunden haben. Auffallend ist allerdings, dass am Ende der jüngeren Dryas, als nach einer markanten Kaltphase ein starker Temperaturanstieg von mehreren $^{\circ}\text{C}$ in 100 Jahren (evtl. bis zu 7°C ; vgl. auch Alley 1993) eintrat, bisher kein einziges Bergsturzereignis datiert wurde.
- Die Perioden mit erhöhter Rutschaktivität in der Schweiz gemäss Dapples et al. (2003) zeigen keine erkennbare Übereinstimmung mit den datierten Bergsturzereignissen. Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass der erwähnte starke Temperaturanstieg zu Beginn des Holozäns (Subboreal) im Gegensatz zu den Sturzereignissen eine erhöhte Rutschaktivität zur Folge hatte.
- Bei einem Vergleich der Ereignisse mit dem Verlauf der Schweizer Gletscher (Vorstoss bzw. Rückzug gegenüber dem Stand der Jahre 1860 bzw. 2000 gemäss Maisch et al. 2000 und Holzhauser et al. 2005) fällt folgendes auf:
 - In Zeitabschnitten mit starkem Gletscherrückgang und somit einem generell warmen Klima wie in Zeitabschnitten des Älteren und Jüngeren Atlantikums - d. h. im holozänen Klimaoptimum - oder auch im ersten Teil des Älteren Subatlantikums wurden bisher keine Bergsturzereignisse datiert.
 - Eine erste «Konzentration» von Stürzen wurde im Boreal mit wechselndem Klima und kurzzeitigen Warmphasen (Tinner et al. 2005) festgestellt.
 - Eine zweite Häufung mit grösseren Ereignissen vor allem in Österreich ergab sich im Subboreal am Schluss eines kleinen Klimaoptimums und einer anschliessenden Kaltphase mit Gletschervorstoss vor rund 4000 Kalenderjahren.
- Der Vergleich zwischen den «prähistorischen» Bergsturzereignissen mit den auf Grund von zahlreichen Holzfunden datierten Rückzugsperioden der Schweizer und Österreicher Gletscher (Joerin et al. 2006;

Nicolussi & Patzelt 2000) gestaltet sich schwieriger. Auffallend ist, wie auf der Fig. 3 ersichtlich, dass die Häufung von Bergstürzen in Österreich im mittleren Ab-

schnitt des Subboreals (vor rund 4000 Kalenderjahren) nicht mit einer Rückzugsperiode der Gletscher korreliert werden kann.

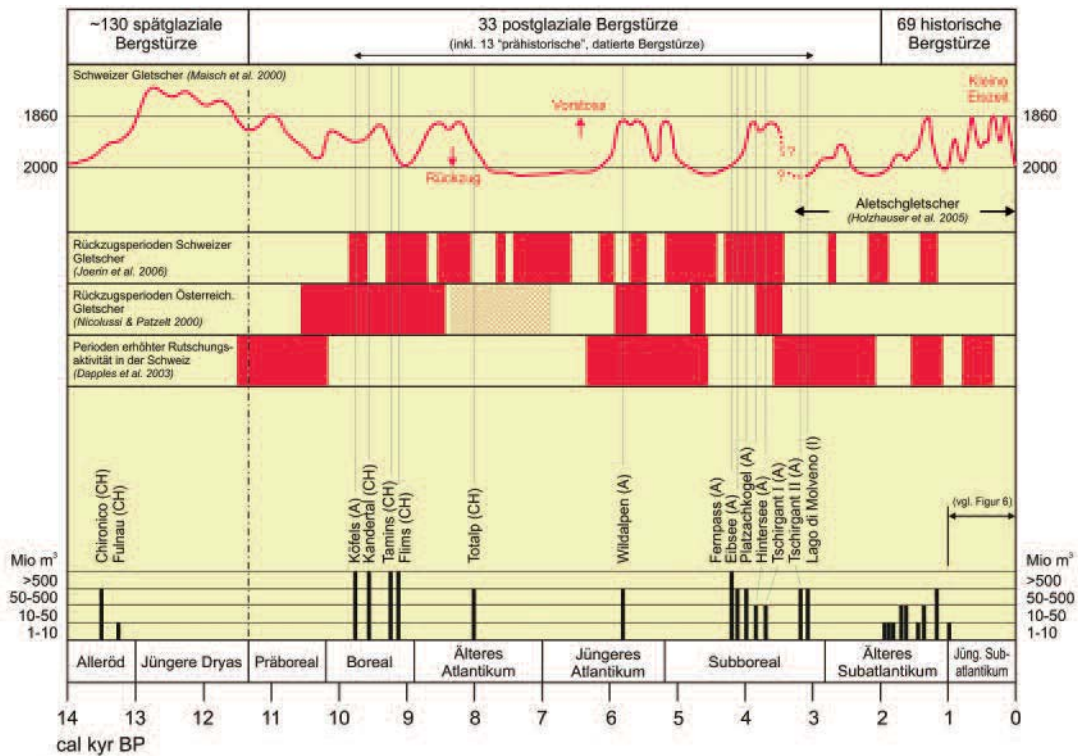


Fig. 3: Bergsturzereignisse und Klima seit der letzten Eiszeit. Altersangaben der «prähistorischen» Bergstürze nach Poschinger (2002, 2005), Poschinger et al. (1997), Poschinger et al. (2006), Tinner et al. (2005), Huser et al. (2007) und Ostermann et al. (2006).

6. Historische Bergstürze

6.1 Auslöser der historischen Bergstürze

Die genauere Beschreibung von vielen Bergstürzen vor allem seit den letzten 600 Jahren erlaubt es, eine Auswertung in Bezug auf die wichtigsten Auslösefaktoren der Stürze zu machen. Wie aus der Fig. 4 hervorgeht, ist rund die Hälfte der Bergstürze auf Regen (evtl. in Kombination mit Schneeschmelze) zurückzuführen. Bei sechs Stürzen war der Auslöser ein Erdbeben; drei Stürze wurden anthropogen, d.h. durch Menschen, verursacht (Plurs 1618, Elm 1881 und Vajont 1963).

6.2 Jahreszeitliche Verteilung der historischen Bergstürze

Die Angaben der Chronisten erlauben eine jahreszeitliche Unterteilung der Bergstürze. Wie die Fig. 4 zeigt, treten fast zwei Drittel der Ereignisse im Sommer oder Herbst auf (vorwiegend im September!), also in einem Zeitraum, in welchem in den Alpen normalerweise relativ viel Niederschlag als Regen fällt.

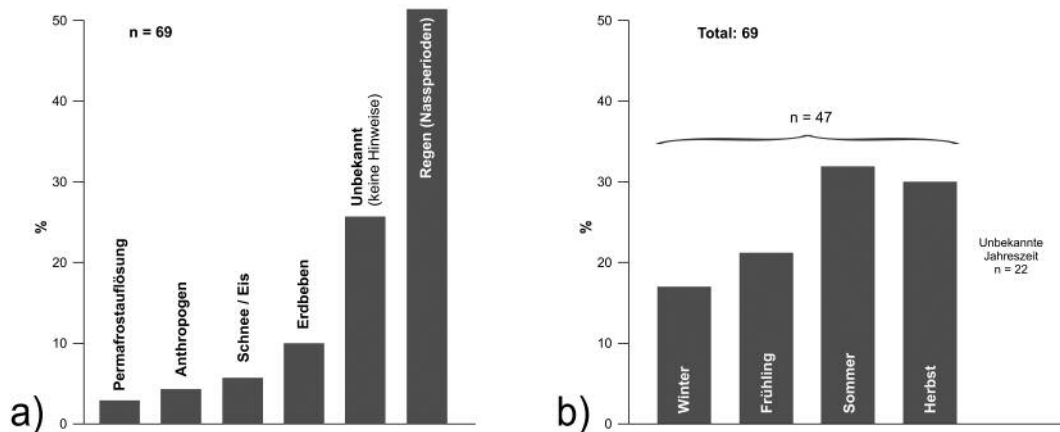


Fig. 4: a) Auslösfaktoren der historischen Bergstürze; b) Jahreszeitliche Verteilung der historischen Bergstürze.

6.3 Bergstürze und Klima in den letzten 1000 Jahren

Die rund 60 Bergstürze, welche in den letzten 1000 Jahren auftraten, sind in Fig. 5 auf der Zeitachse aufgetragen. Die «Zunahme» der Ereignisse seit rund 600 Jahren, v.a. aber seit 150 Jahren, dürfte in erster Linie darauf zurückzuführen sein, dass früher die Chronisten fast ausschliesslich diejenigen Bergstürze erwähnten, welche katastrophale Ausmasse erreichten, d.h. welche Menschenleben forderten. Dank Datierungen an Holzproben, welche im Rahmen geologischer Erkundungen für Bauprojekte zum Vorschein kommen, können heute, wie das Beispiel des Bergsturzes von Balm bei Meiringen zeigt (Gander in Vorb.), weitere historische Ereignisse hinzugefügt werden.

Der Vergleich zwischen dem Temperaturverlauf (nördliche Halbkugel) bzw. den Vorstoss- und Rückzugsphasen des Aletschgletschers mit der Sturzhäufigkeit zeigt, dass in der kältesten Periode zwischen 1600 und 1850 die durchschnittliche Zahl von grossen Stürzen tendenziell eher geringer war als in wärmeren Zeiten.

Aus der Fig. 5 geht andererseits aber auch hervor, dass unmittelbar nach Ende der Kleinen Eiszeit, d.h. ab 1850, die Sturzereignisse vor-

erst klar zugenommen haben. Dies dürfte, nebst einer Hangentlastung infolge Rückzug der Gletscher, auch auf die in diesem Zeitraum ausserordentlich intensiven Niederschläge zurückzuführen sein (Hegg et al. 2005), welche auch zu einer Häufung von Überschwemmungen im Alpenraum führten (Pfister 2003). Die seither weiterhin andauernde Erwärmung mit dem markanten Rückzug der Gletscher hat allerdings nicht zu einer weiteren erkennbaren Zunahme von Ereignissen geführt. Dies dürfte einerseits mit der Beruhigung des Niederschlagsgeschehens zu tun haben, andererseits sicher auch damit, dass sich die Gletscher mittlerweile soweit aus den Haupttälern zurückgezogen haben, dass dies in den unteren, besiedelten bzw. genutzten Talbereichen nicht mehr zu Hangentlastungen und Instabilitäten von mengenmässig ausserordentlich grossen Felsmassen führte.

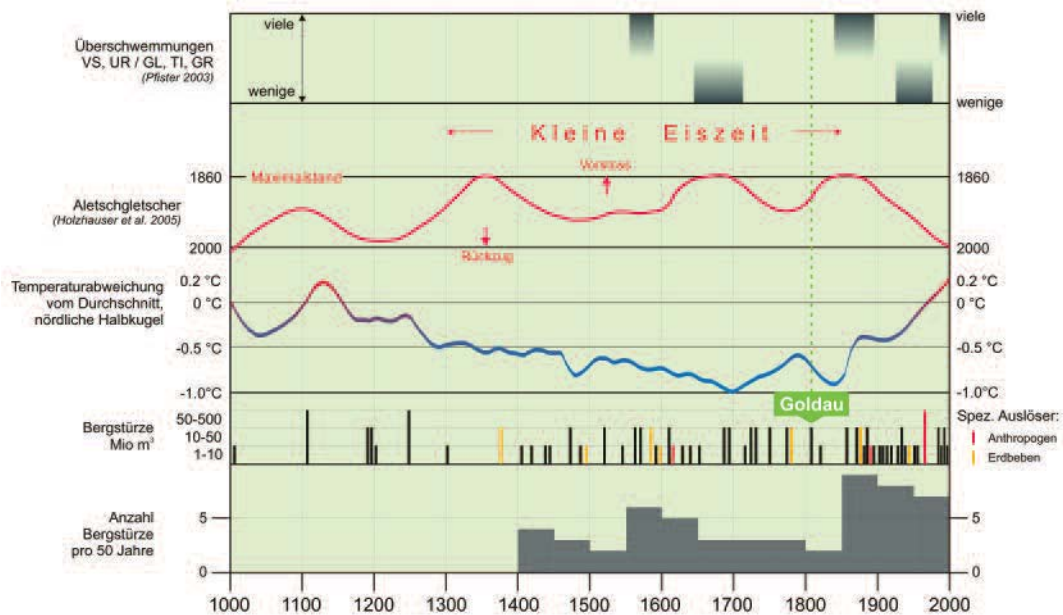


Fig. 5: Vergleich Klima und Bergstürzeereignisse in den letzten 1000 Jahren.

7. Schlussfolgerungen

7.1 Bergstürze im Spätglazial und Postglazial

Der Rückzug der Gletscher vor rund 14'000 Jahren führte im Alpenraum im Spätglazial zu zahlreichen Bergstürzen infolge Hangentlastung. Datierungen an einer mittlerweile recht beträchtlichen Anzahl von auch grossen Bergstürzen zeigen, dass diese nicht, wie früher verbreitet angenommen, am Ende der letzten Eiszeit niedergingen, sondern erst im Verlaufe des ersten Abschnittes des Holozäns. Der «Reifeprozess» von der Hangentlastung bis zum Sturz dauerte bei diesen Ereignissen somit bedeutend länger und dürfte unter anderem auf länger andauernde Verwitterungsprozesse (Hangerosion, Bildung von Druckentlastungsklüften, Temperaturwechsel etc.) zurückzuführen sein; Prozesse, die zum Teil mehrere Jahrtausende oder mehrere Klimawechsel dauerten. Die Bergstürze fanden gesamthaft eher in kälteren Klimaperioden statt bzw. in Zeiten mit

vorstossenden Gletschern (z. B. vor rund 4000 Jahren mit grossen Ereignissen in Österreich). Auslöser dürften vermutlich in erster Linie ausserordentlich feuchte Perioden gewesen sein. Auffallend ist, dass aus der markantesten Warmphase des Holozäns (dem so genannten Klimaoptimum im Älteren und Jüngeren Atlantikum) keine Bergstürze bekannt sind.

7.2 Historische Bergstürze

Gemäss den heute bekannten Klimavariationen seit Christi Geburt, insbesondere jedoch seit rund 1000 Jahren, sind die Zusammenhänge zwischen Sturz und Klima weniger deutlich erkennbar als in den frühen Abschnitten des Holozäns. Grundsätzlich finden in sehr kalten Perioden eher weniger Stürze statt. Andererseits zeigen auch ausgeprägte Warmzeiten nicht eine generelle Erhöhung von Sturzereignissen. Bei den historischen Bergstürzen im Alpenraum seit Ende der Kleinen Eiszeit, d.h. seit rund 150 Jahren, gilt es zu berücksichtigen, dass die deutliche

Häufung vor allem infolge einer recht guten und vermutlich ziemlich vollständigen Dokumentation der Ereignisse zurückzuführen ist. (Aus den früheren Zeiten dürften vor allem dann Aufzeichnungen bestehen, wenn die Stürze katastrophalen Charakter hatten.) In den letzten 150 Jahren ist keine Tendenz erkennbar, dass die immer noch andauernde Erwärmung zu einer grösseren Sturzhäufigkeit geführt hat.

Ausschlaggebend für die Sturzauslösung war zum grossen Teil das Niederschlagsgeschehen. Die Feststellung, dass eine Mehrzahl von Bergsturzereignissen auf nasse Perioden mit zum Teil lang anhaltenden Niederschlägen zurückzuführen sind, weist darauf hin, dass bei vielen grossen abgestürzten Felsmassen wahrscheinlich ein behinderter Wasserabfluss im Berginnern bestand, was eine Erhöhung des hydrostatischen Druckes (Bergwasserdruck) bewirkte. Dies führte zu einer Destabilisierung der Felsmassen und letztlich zu einer Sturzauslösung. Die hauptsächliche Ursache von Bergstürzen unterscheidet sich somit deutlich von derjenigen von kleineren Sturzprozessen (Stein- und Blockschlag, kleinere Felsstürze), welche häufiger in kälteren Jahreszeiten ausgelöst werden (Gruner 2004, Stoffel et al. 2005). Dies ist, wie viele Messüberwachungen an Felspartien gezeigt haben, darauf zurückzuführen, dass die Gesteinsmassen bewegungsmässig stark auf kalte Temperaturen bzw. Frost-Tau-Wechsel reagieren (Krähenbühl 2004, Gruner 2004). Stoffel et al. (2005) konnten zudem anhand von dendrochronologischen Untersuchungen in einem bewaldeten alpinen Hang im Wallis zeigen, dass dort Stein- und Blockschlag fast ausschliesslich während der winterlichen Vegetationsphase der Bäume zwischen Mitte Oktober und Ende Mai auftrat, wobei die Sturzaktivität weder durch Sommergewitter noch durch lang anhaltende Niederschläge im Herbst beeinflusst wurde. Ein ähnlicher saisonaler Verlauf der Stürze bzw. die geringen Auswirkungen von Starkregen auf Sturzereignisse wurden auch in Norwegen festgestellt (Sandersen et al. 1995).

7.3 Ausblick

Inwiefern sich der Klimawandel in Zukunft auf die Häufigkeit von Bergstürzen auswirkt, ist schwierig zu prognostizieren. Solche Ereignisse «benötigen» in der Regel vor allem lange feuchte Perioden, wahrscheinlich in erster Linie im Sommer und Herbst. Eine Zunahme von intensiven Niederschlägen wird heute unter anderem für den Herbst, jedoch nicht für den Sommer prognostiziert. Ohnehin sind Sturzereignisse von dieser Grössenordnung (> 1 Mio. m³) eher seltene Phänomene. Sie traten im Alpenraum seit der letzten Eiszeit im Durchschnitt nur alle 5 bis 10 Jahre auf.

Literatur

- Abele, G. 1974: Bergstürze in den Alpen. *Wiss. Alpenvereinsh.* 25, 1-230.
- Alley, R.B. 1993: Abrupt accumulation increase at the Younger Dryas termination in the GISP2 ice core. *Nature.* 362, 527-529.
- Cadisich, J. 1970: Bergstürze in der Sicht des Geologen, mit besonderer Berücksichtigung der Katastrophe von Vajont. *Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing.* 36/90, 53-66.
- Dapples, F., Oswald, D., Raetzo, H., Lardelli, T. & Zwahlen, P. 2003: New records of Holocene landslides activity in the Western and Eastern Swiss Alps: Implication of climate and vegetation changes. *Eclogae geol. Helv.* 96, 1-9.
- Eisbacher, G. H. & Clague, J. J. 1984: Destructive mass movements in high mountains: Hazard and management. *Geolog. Survey of Canada. Paper* 84-16, 1-230.
- Gander, P. (in Vorb.): Altersbestimmung des Bergsturzes von Balmweid, Meiringen BE. Radiokarbon-Datierung an Holzproben.
- Gruner, U. 2004: Klima und Sturzereignisse in Vergangenheit und Zukunft. *Bull. angew. Geol.* 9/2, 23-37.
- Hegg, C. & Vogt, S. 2005: Häufigkeit und Trends von Starkniederschlägen in der Schweiz im Zeitraum 1864-2002. *Wasser Energie Luft.* 97, 7/8, 209-212.
- Heim, A. 1932: Bergsturz und Menschenleben. *Vjschr. d. Naturforsch. Ges. Zürich.* 1-218.
- Heuberger, H. 1996: The giant rockside of Köfels, Ötztal, Tyrol. *Mountain Research and Development.* 14, 290-294.
- Holzhauser, H., Magny, M. & Zumbühl, H. J. 2005: Glacier and lake-level variations in west-central Europe over the last 3500 years. *The Holocene.* 15/6, 789-801.
- Huser, D. van & Fritsch, A. (2007): Der Bergsturz von Wildalpen (Steiermark). *Jb. Geol. B.-A.* 147/1+2, 201-213.
- Joerin, U. E., Stocker, T. F. & Schlüchter, C. 2006: Multicentury glacier fluctuations in the Swiss Alps during the Holocene. *The Holocene.* 16/5, 1-8.
- Krähenbühl, R. 2004: Temperatur und Kluftwasser als Ursache von Felssturz. *Bull. angew. Geol.* 9/1, 19-35.
- Maisch, M., Wipf, A., Denneker, B., Battaglia, J. & Benz, C. 2000: Die Gletscher der Schweizer Alpen. Gletscher Hochstand 1850, aktuelle Vergletscherung, Gletscherschwund-Szenarien. 2. Auflage, vdf, Hochschulverlag AG ETH Zürich.
- Montandon, F. 1933: Chronologie des grands éboulements alpins, du début de l'ère chrétienne à nos jours. *Matériaux pour l'étude des calamités.* 32, 271-340.
- Nicolussi, K. & Patzelt, G. 2000: Untersuchungen zur holozänen Gletscherentwicklung von Pasterze und Gepatschferner (Ostalpen). *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie.* 36, 1-87.
- Ostermann, M., Kramers, J. D., Sanders D. & Prager, C. 2006: Dating a rock slide by the $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ method: the Fern Pass, Austria as an example. 4th Swiss Geoscience Meeting. Bern 2006. Abstract.
- Pfister, C. 2003: Ein Blick auf die letzten 500 Jahre. In OcCC Bern: Extremereignisse und Klimaänderung. 21-24.
- Poschinger, A. v. 2002: Large rockslides in the Alps: A commentary on the contribution of G. Abele (1937-1994) and a review of some recent developments. In S. G. Evans & J. V. De Graff (Eds.): Catastrophic landslides: Effects, occurrence and mechanisms. Geological Society of America, *Review in Engineering Geology.* XV, 237-255.
- Poschinger, A. v. 2005: Der Flimser Bergsturz als Staudamm. *Bull. angew. Geol.* 10/1, 33-47.
- Poschinger, A. v. & Haas, U. 1997: Der Flimser Bergsturz, doch ein warmzeitliches Ereignis? *Bull. angew. Geol.* 2/1, 35-46.
- Poschinger, A. v., Wassmer, P. & Maisch, M. 2006: The Flims rockslide; history of interpretation and new insights. In S. G. Evans, G. Scarascia-Mugnozza, A. Strom & R. L. Hermanns. *Landslides by massive rock slope failure*, 329-356. Springer.
- Sandersen, F., Bakkehoi, S., Hestnes, E. & Lied, K. 1995: The influence of meteorological factors on the initiation of debris flows, rockfalls, rockslides and rockmass stability. Senneset (eds.): *Landslides 1996.* 97-113. Balkema, Rotterdam.
- Stoffel, M., Lièvre, I., Monbaron, M. & Perret, S. 2005: Seasonal timing of rockfall activity on a forested slope at Täschgufer (Swiss Alps) - a dendrochronological approach. *Z. Geomorph.* 49, 89-106.
- Tinner, W., Kaltenrieder, P., Soom, M., Zwahlen, P., Schmidhalter, M., Boschetti, A. & Schlüchter, C. 2005: Der nacheiszeitliche Bergsturz von Kandersteg (Schweiz): Alter und Auswirkung auf die damalige Umwelt. *Eclogae geol. Helv.* 98, 83-95.