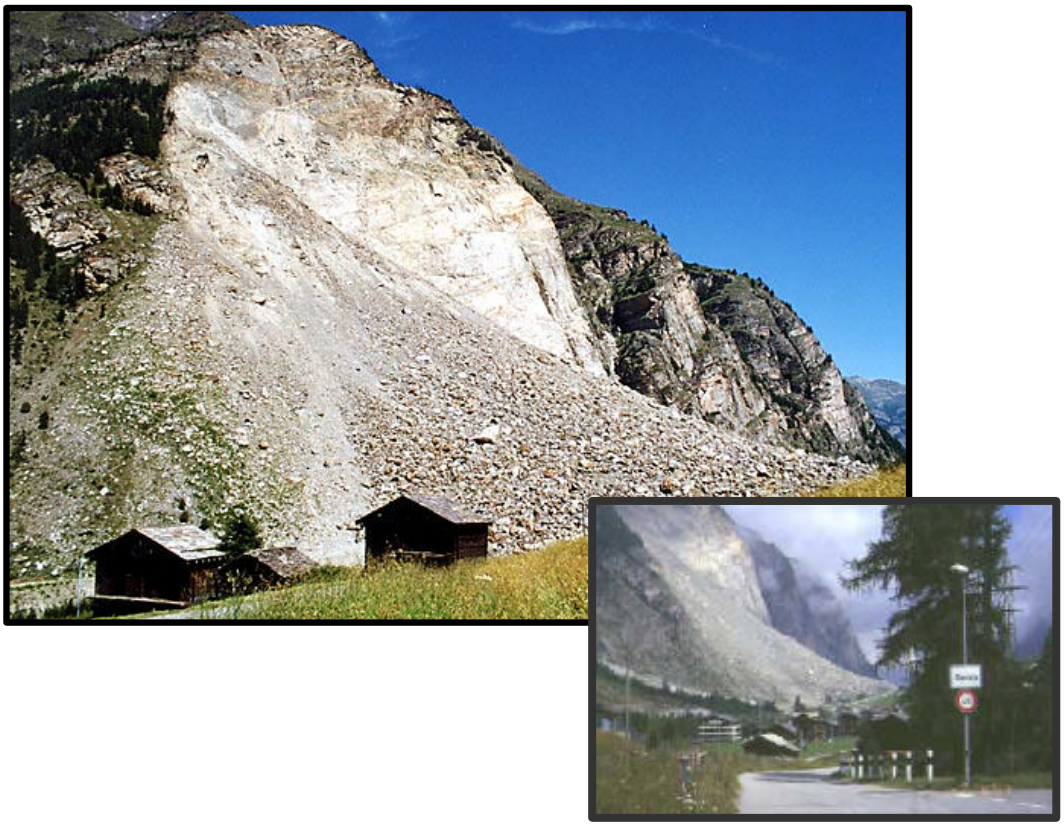
Physiogeographisches Seminar
„Global Change & mountain regions“
WS 2001/2002

Auswirkungen des Global Change auf die Sturzprozesse im alpinen Raum



Bearbeitung: Florian Jurgeit, 2001
Eingereicht bei: Prof. Dr. Johann Stötter

Einleitung

„Es gibt immer mehr Fels- und Bergstürze. Die Zahl der Unfälle nimmt zu.“ Wo der ganzjährig gefrorene Boden, der Permafrost, auftaut, habe die Steinschlaggefahr drastisch zugenommen: „Einige klassische Nordwände in den Alpen können nicht mehr begangen werden, ohne dass man ein hohes Risiko in Kauf nimmt“, sagt der Bergführer Dario-Andri Schwörer aus Scuol im Unterengadin.
Diese Aussage des Bergführers soll im Rahmen dieser Arbeit wissenschaftlich fundiert überprüft und ausgearbeitet werden, wobei zu erwähnen ist, dass der Themenkreis rund um Global Change und Naturgefahren zur Zeit auch einer starken Medienpräsenz ausgesetzt ist (vgl. TT vom 28.11.2001: „Naturgefahren – Gefahr in den Alpen steigt“, journal tirol 12/01) – nicht zuletzt aufgrund der Brisantes des Themas für die Versicherungswirtschaft, wie dem großen Rückversicherer ‚Münchner Rück‘.

Summary

The following work discusses the influence of Global Change on fast gravitational movements (rock-fall, landslide, ice-fall).
For most people and scientists Global Change is similar to Global Warming, although two aspects have to be considerated:

- On the one hand climate change can influence the different natural dangers; the main question is whether the danger will increase or decline. Depending on this the available space for landuse will decrease or increase.
- On the other hand the way of life has changed: more space was used by society – specially in the Alps: tourist resorts in 2000m or higher, skiing resorts on glaciers, importance of traffic has increased, …; so we moved towards the natural dangers !

The climate effects of Global Change are going to influence fast gravitational movements because of the following effects:
→ decreasing glaciers: steep slopes because of glacial erosion and slopes loose the pressure of the glaciers, rock-wheathering because of lost pressure
→ Pemafrost moves higher: more areas loose the ‘cement-effect’ of Permafrost, more water is available – more water infiltrates into the rock and decreases stability (pore-water pressure increases); slide-layers can be activated by the water because of friction loss.

→ more heavy rainfalls are expected in the Alps – because of in general higher temperatures more rain (instead of snow) will fall in high moutain areas: an increase of pore-water pressure and a deacrease of stability follows. Many mass movements and slope failures are due to abnormally high pore-water pressures (ABBOT) !
→ more available water and an increasing frequency between frost and no frost causes a higher rate of frost-wheathering.
All the reasons above (and some more) are so called external factors for fast mass movements and can be influenced. Of greater importance are the internal factors (long-term processes): geology, tectonics, mineralogy, …
The internal factors can hardly be influenced (geologic times), but have to be seen as more important than the external factors for a possible slope failure !
In summary it can be said, that the effects (climate effects) of global change will hardly increase the number of fast gravitational movements, especially big movements will not be influenced.
Landuse-planning has to react actively and has to call for a more future orientated dealing with natural dangers.

Methodik der Arbeit

Es erscheint methodisch sinnvoll eine Faktorenanalyse vorzunehmen, d.h. die einzelnen Faktoren der Prozesse bezüglich möglicher ‚Angriffspunkte' der Phänomene des Global Change zu analysieren.
Der Schwerpunkt liegt auf der Entstehung (Ursache) und der Auslösung der Prozesse, denn die Analyse dieser beiden Prozessabschnitte ermöglicht die Aussagen bezüglich einer möglichen Häufung der Prozesse beziehungsweise über eine Intensivierung der Prozesse; die Häufung alleine bewirkt jedoch keine Änderung der Gefahrensituation, solange die Intensität bestehende Schutzvorkehrungen nicht beeinflusst.
Für die Klassifizierung der Faktoren bestehen mehrere Möglichkeiten, wie zum Beispiel eine genetische Ordnung, eine Ordnung bezüglich aktiver und passiver Faktoren, sowie Trennung der Faktoren, die Scherwiderstände erhöhen oder verkleinern und zahlreiche weitere.
Im Zusammenhang mit den Phänomenen des Global Change scheint die Unterscheidung von permanenten (konstanten), variablen und auslösenden Faktoren sinnvoll zu sein. Im wesentlichen handelt es sich hierbei methodisch um eine Gliederung in aktive und passive Faktoren, wobei aber zeitlich differenzierter vorgegangen wird (siehe dazu auch RAETZO-

BRÄLHART, 1997 und KUNZ, 1998); KUNZ spricht von ‚Permanenten Bedingungen', ‚Erschwerenden Faktoren' und ‚Auslösenden Faktoren'.
Innerhalb dieser Gliederung bietet sich eine genetische Ordnung (Geologie, Hydrogeologie, Hydrologie, Geomorphologie etc.) an – ein Nachteil der zeitlich differenzierten Gliederung ist die Verteilung der genetischen Prozesse in verschiedene zeitliche Einheiten.

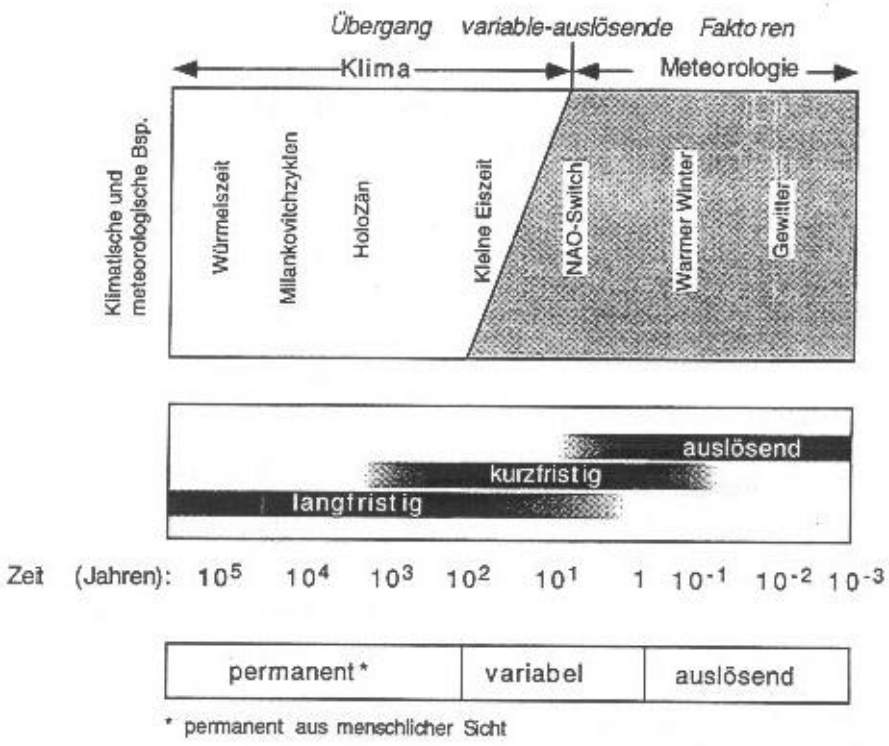


Abbildung 1: Gliederung in permanente, variable und auslösende Faktoren nach zeitlichen Kriterien am Beispiel der klimatischen Parameter (aus: RAETZO-BRÄLHART)

Interessante Möglichkeiten um klimatische Abhängigkeiten nachzuvollziehen, insbesondere bei den im Alpenraum gut untersuchten Bergstürzen, bietet ein Blick in die Vergangenheit und somit in die Klimageschichte, sodass im folgenden auch Beispiele aus der Vergangenheit eingebracht werden.

Begriffsdefinitionen

Im folgenden werden Grundkenntnisse mit der Materie (Gravitative Massenbewegungen – Sturzprozesse) vorausgesetzt, sodass die Begriffe nur kurz definiert werden:
Von Sturzprozessen wird gesprochen,

- Wenn Festgestein betroffen ist und
- die Bewegung rasch erfolgt und
- die Gravitation den „Antrieb" darstellt.

Steinschlag

„Der plötzliche Absturz von Gesteinstrümmern, die sich durch Frostsprengungsverwitterung oder bei Durchfeuchtung bzw. Temperaturwechsel aus Hängen bzw. Wänden lösen. Die Steinschlaghäufigkeit ist z.T. tages- und jahreszeitlich geregelt, vor allem wenn Witterungsschwünge einsetzen oder Felswände intensiv bestrahlt werden. Der Abgang des Steinschlags erfolgt oft in Steinschlagrinnen. (...)“ (LESER, 1997)

Die Größe wird meist als Einzelblöcke mit max. 1m (BUWAL: 2m) Durchmesser definiert.

Felssturz

„Gravitative Massenbewegung unterschiedlicher Größenordnungen, größer als der Steinschlag und kleiner als der Bergsturz, bei der von Steilhängen oder Wänden Felsblöcke einzeln oder vergesellschaftet abbrechen und dann abstürzen.“ (LESER, 1997)

Bergsturz

„Im Gegensatz zum Bergrutsch eine plötzliche, katastrophenartige gravitative Massenbewegung von Locker- und Festgesteinen an Steilhängen oder Wänden, wobei der Sturz gegenüber dem Gleiten überwiegt. Es entsteht eine markante Abbruchnische und am Ende der Sturzbahn eine oft große Akkumulationsform. Besonders in den Alpen sind Bergstürze weit verbreitete Erscheinungen. Das unruhige Relief der Ablagerung wird als Tomalandschaft bezeichnet.(...)“ (LESER, 1997)

ABELE (1974) definiert die Größe über ein Volumen > 1 Mio. m^3 oder einer Fläche von > 0,1 km^2.

Gletschersturz

„Lawinenartiger Niedergang eines plötzlich losgebrochenen Gletscherteils.“ (LESER, 1997)

Global Change

„ Interdisziplinäre, auch in der Öffentlichkeit übliche Sammelbezeichnung für weltweite, also globale Änderungen in der Landschaftshülle der Erde bzw. der Umwelt des Menschen sowie in den geosphärischen Teilmodellen (geosphärische Dimension) betrachteten Klima-, Wasser- und Stoffhaushalte der Gesamterde. Mit Global Change wird demzufolge die anthropogene Änderung des geosphärischen Synergismus bezeichnet.“ (LESER, 1997)

Themenrelevante Faktoren des Global Change

Die wesentliche Frage ist die nach dem Klimawandel und den damit verbundenen Auswirkungen; die Klimaänderung ist ein globales Phänomen mit regional unterschiedlichen Auswirkungen, wobei für den Alpenraum folgende Punkte zusammenfassend genannt werden sollten:

- Temperaturanstieg: bis 2030 Sommerdurchschnittstemperatur +2,3 bis 2,7°C; Winterdurchschnittstemperatur +1,9 bis 2,3°C (BLOETZER et al, 1998)
- Niederschlagverhältnisse: Sommerniederschlag Abnahme 7,5 bis 12,5% Prozent, Winterniederschlag Zunahme um ~ 5% (BLOETZER et al, 1998)

Wichtig ist festzustellen, dass laut IPCC alle Szenarien zu solchen Temperaturerhöhungen führen, jedoch nur mehr oder weniger schnell.
Wesentliche Folgewirkungen für den Alpenraum sind ein Höherwandern der Permafrostgrenze, Rückzug der Gletscher, Vegetationsveränderungen, wie zum Beispiel ein Anstieg der Waldgrenze, Trockenperioden und regional Änderungen bezüglich vorherrschender Wetterlagen (siehe dazu auch: BLOETZER et al, 1998; MAISCH, 1994; BADER, 1998; WANNER, 1998; DIKAU, 1998; NESJE, 2000; SLAYMAKER, 1998)
KUNZ (1998) betont jedoch, dass es keine Vorhersagen gibt, sondern nur Szenarien und dass es die große natürliche Variabilität schwierig macht, abzuschätzen, ob sich die Witterungs- und Klimabedingungen durch menschlichen Einfluss außerhalb des bisher gewohnten Rahmens bewegen werden.
Ein weiterer Punkt sind die geänderten Lebensformen der Menschen - verstärkte Eingriffe in die Natur, Ausdehnung des Siedlungsraumes, verstärkte Vernetzung der Funktionsräume (Verkehrswege) etc. – darauf wird in Kapitel 4 eingegangen.

Faktorenanalyse der Beeinflussbarkeit von Sturzprozessen durch Phänomene des Global Change

Gesteinsbezogene Sturzprozesse

Allgemeines

Nach der Abfahrt von Massenbewegungen steht oft die Frage nach der Ursache beziehungsweise der Auslösung – und zunehmend wird, zumindest seitens der Medien und

der Bevölkerung, dem Klimawandel die ‚Schuld' zugeteilt. Anzeichen für eine Reaktion der alpinen Umwelt auf Veränderungen des globalen Klimas und die Beeinflussung des Potentials für Naturgefahren und Katastrophen sind zu beobachten.
Die Voraussetzung für jeden der Prozesse ist jedoch das Zusammenspiel einer Vielzahl von negativen Faktoren in einem ungünstigen Moment (→Auslösung). Interaktionen zwischen den Faktoren machen aus der Stabilität der Hänge und Wände ein komplexes Thema – und erschweren eine Korrelation zwischen Global Change und Prozess-Ursache und Auslösung, sodass gegenwärtig meist nur qualitative Aussagen getätigt werden können.
Allgemeine Aussagen bei Sturprozessen sind aufgrund ihrer Standortgebundenheit und Spontanität als gefährlich zu bezeichnen, da jedes Ereignis individuell zu sehen ist und somit eine fallweise Überprüfung vorausgesetzt werden muss !

Permanente Faktoren

Diese weisen einen Zeithorizont von mehr als 100 Jahren auf und gelten aus Sicht eines Menschen somit als relativ konstant – jedoch können längerfristige Veränderungen hierbei schon in den Prozess eingreifen, sozusagen die Grunddisposition beeinflussen.

- Geologische Faktoren: Diese sind als endogen zu bezeichnen, sodass aus diesem Grund die Beeinflussbarkeit durch Wirkungen des Global Change als minimal eingestuft werden kann, denn Gesteinsentstehung (Magmatische Gesteine sind sturzanfälliger als Metamorphite), mineralogische Zusammensetzung, die Verteilung und Ausrichtung der Minerale, Körner und Zementschichten und somit die Ausbildung von mikroskopischen Gleitflächen, sowie von Schieferung und Bänderung sind über geologische Zeiten entstanden und somit außerhalb der Reichweite von kurzfristigen (Jahrhundert) Änderungen. Dies gilt im selben Maß für die tektonische Genese (Verwerfungen, Falten, Überschiebungen, Brüche, Klüfte, Diskontinuitäten etc.), die neben den oben erwähnten Faktoren als eine der wichtigsten Voraussetzung für die Bereitschaft zu Sturzprozessen gesehen werden kann.
- Geotechnische Faktoren: Die Felsmechanischen Parameter im Festgestein (Zug-, Kompressions- und Scherwiderstand) sind ebenfalls nur längerfristig (geologische Zeitrechnung) zu beeinflussen.
- Hydrogeologie: Von der Klimaänderung nicht zu beeinflussen dürfte die Tiefenwasserströmung sein, denn diese Grundwasserzirkulationen reagieren kaum auf kurz- und mittelfristige Klimaänderungen.(RAETZO-BRÄLHART, 1997)

Bezüglich Durchlässigkeiten, Porenwasserdruck, Infiltration etc. bestehen kurzfristig (< 100a) Einflussmöglichkeiten – s. 3.1.3 und 3.1.4 .

- Geomorphologie: Der Verlust der Eismassen in den Alpen ist auf eine kontinuierlichen Erwärmung zurückzuführen, wobei zum Beispiel für den Schweizer Kanton Graubünden MAISCH(1998) bei einem Anstieg der Temperatur um 1,8°C einen Verlust von 80% der Gletscher erwartet. Dies führt zum Verlust des Seitendrucks der Eismassen auf die Talflanken (Widerlager geht verloren) und es kommt zu Entspannungsbewegungen des Gesteins (Stressausgleichsbewegungen), vorstellbar als eine Ausdehnung, die in weiterer Folge Voraussetzungen für eine Massenbewegung bilden können (Klüfte, Spalten, ...). HAEBERLI (1997) spricht von einer Umverteilung der Spannungen bis in größere Tiefen bei einem markanten Gletscherschwund.
  Von großer Wichtigkeit ist die Hangneigung, die aber insbesondere im Festgestein, abgesehen von anthropogenen Eingriffen (Steinbruch etc.), nur sehr langsam beeinflusst werden kann, zum Beispiel durch glaziale Erosion und einer damit verbundenen Übersteilung des Hanges bzw. der Wand.
  Ebenfalls von geringer Bedeutung sind Änderungen in den Expositionsunterschieden, da die Phänomene des Global Change zum Beispiel keine Auswirkung auf die Sonnenenergie haben werden.
- Hydrologische Faktoren: Niederschläge und ihr Abfluss tragen wesentlich zur Entstehung der Landschaft mit ihren formschaffenden Prozessen bei und sind äußerst dynamisch. Die hydrologische Situation kann aber im regionalen Maßstab als seit Jahrtausenden gleich bezeichnet werden. Das hydrologische Landschaftsbild stammt aus der Zeit vor dem Holozän (~ 10 000a).

Variable Faktoren

Diese sind in einem Zeithorizont von 100 – 1 Jahr zu sehen.

- Geologie: Wie in 3.1.2 erwähnt können diese als lang andauernd im Sinne des Geologischen Zeithorizonts gesehen werden, jedoch spielen die Kontinentaldrift und Eismassenschwankungen in diesem Zeithorizont eine wesentliche Rolle. Eine Beeinflussung der Kontinentaldrift mit immerhin 4cm/a (RAETZO-BRÄLHART, 1997) durch den Global Change wird ausgeschlossen, eine Beschleunigung des Eisschwundes im Alpenraum wird als gegeben gesehen und bedeutet im Zusammenhang mit Sturzprozessen einen Verlust des Widerlagers. Die durchschnittliche Hebung der GWL

(Gleichgewichtslinie) im Zeitraum 1850-1973 liegt in der Größenordnung von 70m - 90m (korrigierter Wert); diese Veränderung stellt ein deutliches Signal für die klimatische Veränderung dar: Erwärmung von ungefähr 0,6°C (KUNZ, 1998). Je nach IPCC-Szenario wird bis 2015 (2025) mit einem Anstieg der Schneegrenze um 100m und einer Erwärmung um +0,7°C im Alpenraum gerechnet !

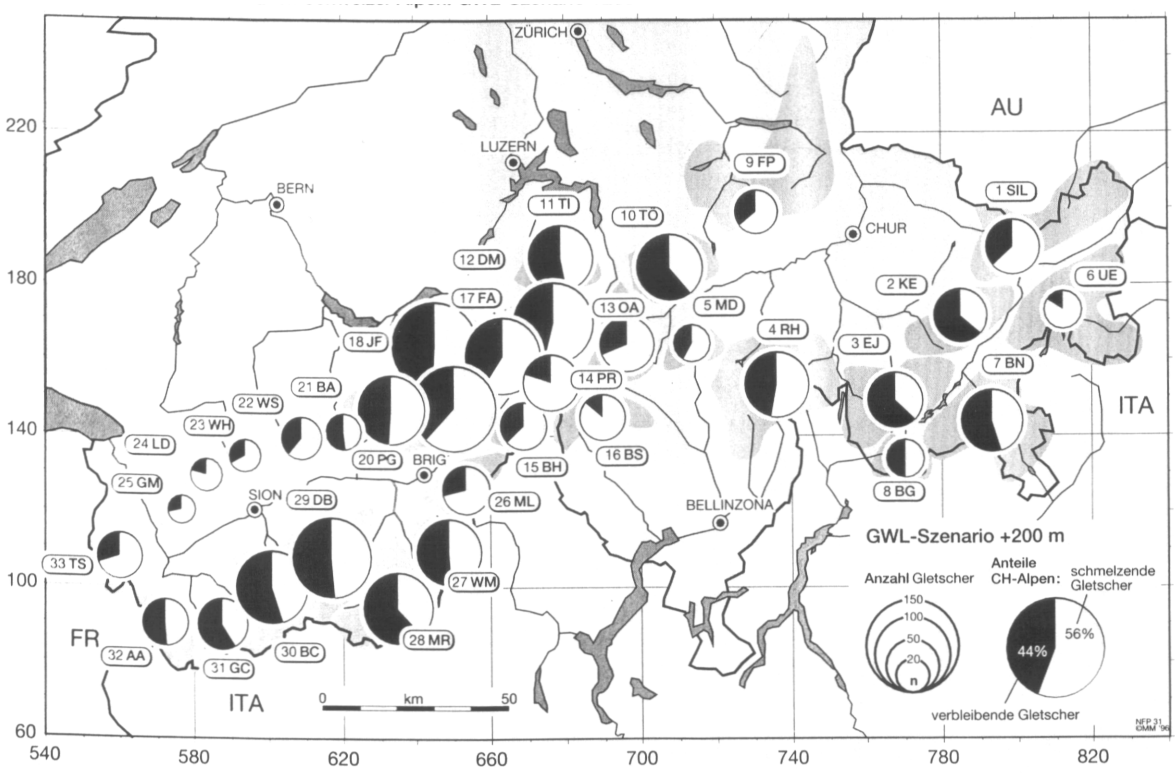


Abb. 2: Gletscherschwundszenario Schweizer Alpen, GWL +200m (MAISCH, 1998)

Die glaziale Erosion führt zur Übersteilung von Talwänden und erhöht damit die gravitative Stresseinwirkung auf den Hang durch die Gravitation; nach dem Rückzug des Gletschers kommt dieser Stress zum Tragen, allerdings sind unmittelbar nach dem Rückzug eines Gletschers große Bergstürze selten (ein Beispiel wäre Flims; vgl. ABELE, 1974), es sind Kluftbildungen und der Abgang kleinerer nicht tiefreichender Abbrüche (Steinschlag, Blockschlag), insbesondere im galzigen übersteilten Gelände, jedoch offensichtlich (s. SCHMELZER, 1998). Auch ABELE (1974) betont die Bedeutung der Gletscher als Initiatoren für Bergstürze. Die nahezu global zu beobachtende Tendenz eines Gletscherrückgangs wird somit in Zukunft zu einer veränderten Grunddisposition im Hochgebirge führen, also zu einer Annäherung an einen kritischen Stabilitätszustand. Die Bildung von DSGC (Deep seated gravitational creep → ~Talzuschub, tiefreichende langsame Massenbewegung) wird in diesem Zusammenhang häufig als eine Vorstufe zu großen schnellen Massenbewegungen (Bergsturz) gesehen, sodass diesen in Zukunft im Hochgebirge größere Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte – insbesondere bezüglich

einer spontanen Mobilisierung des potentiellen Sturzmaterials.
Auch SCHMELZER(1998) sieht das Vorhandensein von Talzuschubgeschehen mit deutlicher auflockernder und destabilisierender Wirkung vor der Vergletscherung als Voraussetzung für die Bereitschaft von tiefreichenden Massenbewegungen wie z.B. Bergstürze nach der Deglaziation.

- Hydrogeologische Faktoren: Verstärkte Niederschlagstätigkeit (zum Beispiel RAETZO-BRÄLHART spricht von „nassen Jahren“) können zu einem Anstieg des Grundwasserspiegels führen und die Stabilität herabsetzen, jedoch tragen diese nicht allein die Verantwortung, sondern sind regelmäßige Erscheinungen.
  Ein hoher Porenwasserdruck, infolge „nasser Jahre“ (RAETZO-BRÄLHART spricht von 5-30 Jahren) trägt wesentlich zur ‚schleichenden‘ Instabilisierung eines Hanges bzw. einer Wand bei, jedoch ist der Porenwasserdruck ebenfalls kurzfristig wirksam (s. Auslösende Faktoren). Inwieweit die klimatischen Auswirkungen des Global Change hierbei zu Tragen kommen kann nicht seriös beantwortet werden, da von einer Zunahme der Winterniederschläge und gleichzeitigen Abnahme der Sommerniederschläge ausgegangen wird. ABELE (1974) spricht von einer zunehmenden Durchfeuchtung der Hänge und somit einem Anstieg des Porenwasserdrucks durch den Gletscherrückgang und dem damit verbundenen Schmelzwasser. Die oft zitierte Häufung und Intensivierung von Starkniederschlägen muss in Anbetracht der abweichenden Aussagen in der Literatur als spekulativ bezeichnet werden !
- Geomorphologie: Talbildungen dauern Jahrtausende, dennoch sind Beeinflussungen in einem Zeithorizont von 1-100 Jahren nicht zu unterschätzen und können maßgeblich Sturzprozesse beeinflussen: Zum Beispiel kann ein einziges Hochwasser einen Hangfuß in einem das Kräftegleichgewicht schädigenden Maß erodieren und die Bereitschaft zu einem Sturzprozess durch eine Übersteilung (Hangfußerosion) fördern. Bei einer prognostizierten Zunahme von Starkniederschlägen und Hochwassern kann die damit verbundene verstärkte fluviale Erosionswirkung auch für Sturzprozesse relevant werden, jedoch sind quantitative Aussagen nicht möglich – im Allgemeinen wird von einer geringen Einflussnahme ausgegangen.
  Verwitterungsprozesse können im Zusammenhang mit Sturzprozessen ebenfalls eine Rolle spielen, wobei die chemischen Verwitterungsprozesse eine vernachlässigbare Rolle spielen. Von großer Relevanz sind die physikalischen Verwitterungsprozesse, insbesondere Congelifraktion (Frostsprengungsverwitterung) und

Druckentlastungsverwitterung.

Erstere beruht auf der Ausdehnung von Wasser im Übergang vom flüssigen in den festen Aggregatzustand, wobei eine Volumenzunahme von 9% und der Aufbau eines Drucks von bis zu 2070 bar erfolgt. Voraussetzungen sind somit das Vorhandensein von Wasser und Frostwechselvorgängen; der bereits erwähnte Gletscherrückgang, das damit freiwerdende Schmelzwasser, verstärkte Winterniederschläge und ein längerfristiges Ansteigen der 0-Grad Grenze können zu einer verstärkten Congelifraktion führen.

Trogtäler, die von Gletschern ausgefüllt waren und im Zuge des Rückgangs derselben eisfrei wurden, weisen Gesteinsablösungen infolge der Druckentlastung (Entlastungsverwitterung) auf – eine auslösende Wirkung muss beachtet werden.

Vorhandensein von Permafrost kann rezent mit Höhenwerten oberhalb von 3000-3500m üNN und einer Jahres-Isotherme von –1 bis –2°C angegeben werden. KUNZ geht davon aus, dass bei einem Anstieg der Temperaturen um 1-2°C bis Mitte des 21. Jahrhunderts (2050) die Untergrenze des Permafrost um 200-750m ansteigen wird. Schon 1974 weist ABELE auf die möglichen Folgen eines Permafrostrückzugs hin: Das Abschmelzen der von Dauerfrost durchsetzten nicht gletscherbedeckten bereits stark aufgelockerten Partien der Gehänge und Wände führte seit dem Ende der Eiszeit zu einer Vielzahl von Massenbewegungen, wobei eher kleinere Sturzprozesse davon betroffen sind (Steinschlag, Felssturz). DÜRR(1970) erklärt die Grobblockigkeit der Moränenwälle am Fuße der hohen Wände der westlichen Dolomiten durch Felsstürze infolge des Permafrostabschmelzens in den Wandpartien. Die zukünftige Bedeutung des Anstiegs der Permafrostgrenze wird durch freiwerdendes Lockermaterial (→ Murgänge) verstärkt, nicht zuletzt aufgrund der Tatsache, dass zum Beispiel rezent ~6,6% der Fläche der Schweiz von Permafrost geprägt ist und seine Tiefenausdehnung in den Alpen mehr als 100m erreichen kann.

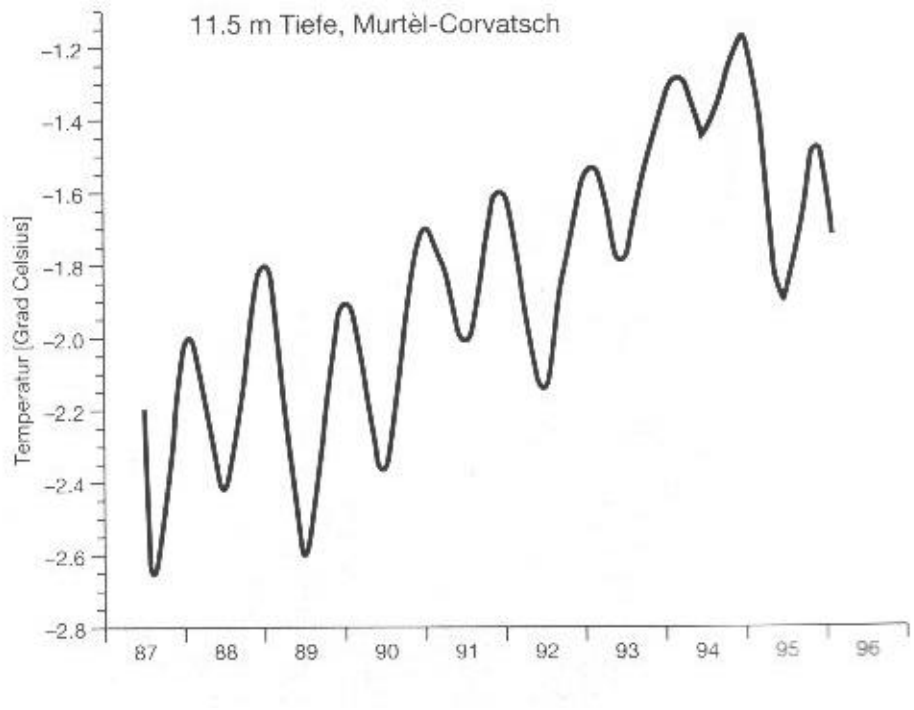


Abbildung 3: Anstieg der Permafrosttemp. in 11,5m Tiefe (KUNZ, 1998)

Das Beispiel Grossgufer (CH) spiegelt einerseits das Zusammenspiel der einzelnen Faktoren (Permafrost, Wasserzirkulation) wider, andererseits kann die ‚langwierige' Vorbereitung auf das Ereignis von 1991 nachvollzogen werden: Seit 1979 wurde vermehrter Steinschlag festgestellt, der wurde ein Wald allmählich zerstört und dessen Schutzwirkung hat abgenommen; der Wald weist auf eine vorhergehende Ruhephase hin, die mit der kleinen Eiszeit (14. Jhdt. bis 1850) datiert werden kann. In dieser Zeit stabilisierte der tiefreichende Permafrost den Systemzustand des Grossgufer und es konnten keine (größeren) Sturzereignisse stattfinden. Die seit dem letzten Gletscherhochstand ansteigende Permafrostuntergrenze sorgte einerseits für den Verlust der stabilisierenden Wirkung (‚Eisarmierung'), andererseits konnte das Wasser im stark zerklüfteten Gebirge wieder zirkulieren und Gleithorizonte bilden, sowie große Wasserdrucke im Berginneren aufbauen. Am 18. April und 9. Mai 1991 kam es schließlich zum Absturz von insgesamt 30 Mio. m³ Material – 33 Gebäude wurden zerstört, Nutztiere getötet und nur durch Glück keine Menschen getötet (Prognostizierbarkeit ist nicht gegeben gewesen !!!). Am Beispiel Grossgufer konnte eine starke Beeinflussung der Bewegungsrate durch eine außergewöhnliche Wettersituation mit intensiven Niederschlägen (164mm) bis 3000m üNN nachgewiesen werden (vgl. BLOETZER und STOFFEL, 1998).

- Hydrologische Faktoren: Wie bereits erwähnt ist der Abfluss ein wesentlicher Faktor bei der Talbildung und beeinflusst somit die Massenbewegungen. Fluviale Prozesse wirken mit zunehmenden Abfluss, wobei konzentrierte Abflüsse regressiv große Volumina abtragen können – mit entsprechender Wirkung auf die Hangstabilität (s. Abbildung 4).

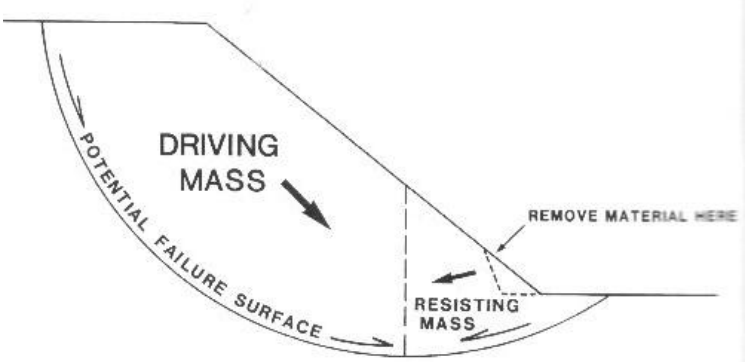


Abbildung 4(aus: ABBOT, 1996)

Auch bei zunehmenden Starkniederschlägen – insbesondere im Hochgebirge durch steigende 0°C Grenze – ist dies als mehrjähriger Prozess mit nachhaltiger Wirkung auf die Hangstabilität zu sehen.

ABELE weist 1974 schon auf eine mögliche Wirkung des Gletscherrückgangs in zweierlei Hinsicht hin: Neben dem Verlust des Widerlagers sieht er eine zunehmende Durchfeuchtung der Gehänge durch das Schmelzwasser der Gletscher, damit verbunden ein Ansteigen des Porenwasserdrucks und bei gestörten Wasserwegen eine zunehmende Infiltration.

Die direkten Auswirkungen der globalen Erwärmung wie erhöhte Wintertemperaturen, damit verbunden das Ansteigen der 0°C-Grenze und Beeinflussung der Niederschlagsart, die Verdunstung, die Schneeschmelze und veränderter Abfluss können in Szenarien abgeschätzt werden; ihre quantitative Wirkung auf die Sturzprozesse kann rezent nur qualitativ abgeschätzt werden.

Aufgrund einer intensiveren Wasserzirkulation in den Spalten wird dies besonders in steilen Hängen, aber auch in brüchigen Felswänden zu einer Materialfreisetzung führen, so fasst es KUNZ zusammen.

- Biologische Faktoren: Die Rolle der Vegetation im Rahmen von Sturzprozessen wird rezent aktiv diskutiert, wobei 2 wesentliche Haltungen zu beobachten sind:

  Bei einer Zunahme von Starkniederschlägen würde eine geschlossene Vegetation (Wald) auf einen Hang aufgrund eines ‚gedämpften' Abflusses (vgl. Interzeption, Evaporation, Transpiration) stabilisierend wirken (Abbildung 3). Die Wirkung des Waldes auf den Wasserhaushalt ist langfristig positiv hervorzuheben (RAETZO-BRÄLHART, 1997).

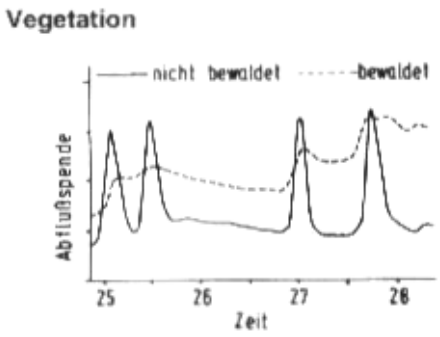


Abbildung 5[1]

Verschiedene Untersuchungen (z. Bsp. BURCH und FORSTER, 1996) widerlegen jedoch den eindeutigen Zusammenhang zwischen Hochwasserspitzen und Vegetation, insbesondere bezüglich Starkniederschlägen ist die positive Wirkung umstritten.
Bei Instabilitäten im kritischen Zustand bzw. im Grenzgleichgewicht kann die Rodung des Waldes eine Entschärfung der Situation bewirken.
Die äolische Energie, die der Wald in den Hang übertragen kann, spielt eine untergeordnete Rolle.
Sollte sich die positive Wirkung des Waldes auch bezüglich Starkniederschlägen, deren Zunahme prognostiziert wird, bestätigen, werden forstlich-biologische Maßnahmen einen wesentlichen Beitrag zur Hangstabilität leisten.

Auslösende Faktoren

Die auslösenden Faktoren werden mit einem Zeithorizont von unter 1 Jahr definiert und setzen in der Regel einen kritischen Systemzustand (Grenzgleichgewicht) voraus, der seinen Ursprung in den Permanenten und Variablen Faktoren hat.
Schon ABELE(1974) weist im Zusammenhang mit der Auslösung auf zwei wesentliche Mechanismen hin: Erdbeben und Wasserdurchtränkung(Porenwasserdruck).
Große Bedeutung haben diese im Zusammenhang mit den großen Sturzprozessen (Bergsturz) – die kleineren Prozesse (Steinschlag) weisen ein breiteres Spektrum an Auslösungsmechanismen auf; dies stellt einen wesentlichen Grundgedanken bezüglich der Auslösung und möglicher Beeinflussung durch den Global Change dar: *mit zunehmender Größe (Steinschlag → Bergsturz) nimmt die Bedeutung exogener Faktoren ab !*

- Geologie: Im wesentlichen kann in diesem Zusammenhang nur Erdbebentätigkeit zur Auslösung von Sturzprozessen beitragen, wobei eine Stärke von etwa MSK 5 oder höher vorrausgesetzt werden muss. Eine Beeinflussung der Erdbebentätigkeit durch den Global Change wird ausgeschlossen, dennoch sind sie auch in Zukunft als

[1] Quelle: Skriptum zur VO Naturgefahrenprozesse – Inst. f. Geographie, Innsbruck

wesentlicher Faktor zu beachten, wie die letzten 50 Jahre zeigen: Zum Beispiel 1960 zahlreiche Felsstürze in Chile, 1970 Gletscher-Bergsturz von Huascaran in Peru mit Zehntausenden Toten.

- Hydrogeologie: Wie einleitend erwähnt spielt der Porenwasserdruck hierbei eine wesentliche auslösende Rolle. Der Anstieg des Porenwasserdrucks mindert die Stabilität und kann bei einem vorhandenen kritischen Systemzustand auslösend wirken – insbesondere ein Überdruck stellt eine große Gefahr dar. Der prognostizierte Anstieg der Winterniederschläge (~ +5% im Alpenraum), das Ansteigen der 0-Grad Grenze und damit bei erhöhten Wintertemperaturen vermehrt Niederschlag in Form von Regen in höhere Lagen, das fortschreitende Abschmelzen der Gletscher, die Permafrostdegradation und das vermehrte Schmelzen von Schneeflecken verursachen höhere Porenwasserdrucke und können somit für Fels- und Bergstürze auslösend wirken. NAUMANN und SAVIGNY (zit. n. SCHMELZER, 1998) bewerten den Einfluss des Porenwasserdrucks bezüglich einer Auslösung eines Events mindestens so hoch wie den Einfluss von Erdbeben. Eine Quantifizierung ist auch hierbei nicht möglich, wenngleich der Gletscherrückgang, die Zunahme der Winterbiederschläge etc. in Modellen quantifiziert werden – eine konkrete Aussage bezüglich ihrer Wirkung bezüglich der Sturprozesse kann jedoch nicht getätigt werden. Der Bergsturz von Goldau ist in Folge außergewöhnlich starker Niederschläge zutal gefahren (ABELE, 1974).

  Die erhöhte Verfügbarkeit von Wasser wirkt sich auch auf den hydraulischen Druck aus – wird dieser zu groß, so kann er auslösend wirken. Voraussetzung hierfür ist das Vorhandensein von Klüften und Spalten (durch Kippungen, Sackungen und Entspannungsbewegungen nach dem Gletscherrückgang !) und somit eine Veränderung der Wasserzirkulation. Die Wirkung eines zu großen hydraulischen Drucks äußerst sich zuerst in der Ablösung der vordersten Gesteine, danach können weitere Felsmassen nachstürzen. CRUDEN/VARNES (1996) betonen dagegen die positive Wirkung von Klüften und Spalten bezüglich des Porenwasserdrucks.
- Geomorphologie: STARKEL(1966) (zit. n. SCHMELZER, 1998) hat bei Untersuchungen in Flandern festgestellt, dass der Permafrostrückgang als auslösendes Moment für ein Event zu sehen ist, da sich die von ihm untersuchten schnellen gravitativen Massenbewegungen meist in Zeiten ereigneten, in denen es humider und wärmer wurde ! Inwieweit der Begriff „auslösendes Moment“ in seinem Sinn einem Zeithorizont von < 1a entspricht kann bezweifelt werden (s. Permafrost als Variabler

Faktor).

Die prognostizierte Zunahme von Frostwechselvorgängen in den Alpen wird zu einer Zunahme der Congelifraktion führen, die besonders für kleinere gravitative Massenbewegungen (Steinschlag, Blockschlag) relevant sein wird.

Geht man zum Beispiel von einer Zunahme von blockierenden Hochdrucklagen im Alpenraum aus, so sind von diesen stabilen Hochdrucklagen Gebiete, die über der Inversion liegen, betroffen. In Höhenlagen oberhalb von 800-1000m üNN werden zum Beispiel Wintertemperaturen zwischen –1°C und –4°C bei einer Tagesamplitude von 5°C positiv, sodass die Anzahl von Frostwechseln zunimmt (s. RAETZO-BRÄLHART, 1997).

EGLI und PETRASCHECK (1998) formulieren die möglichem Auswirkungen wie folgt: Bei der Verwitterung von Felsflanken stellen die geologischen Strukturen wiederum den entscheidenden Faktor dar. Die Auslösung von Block- und Steinschlag könnte durch vermehrte Frost-/Tauzyklen in mittleren Lagen zu einer Häufung dieser Sturzprozesse führen, wenn im Winterhalbjahr mehr Niederschlag bei wärmeren Temperaturen anfällt.

Hierbei sollte jedoch angemerkt werden, dass dies für die kleineren Prozesse Geltung haben wird – von einer Häufung der Bergstürze durch Frost-/Tauzyklen ist nicht auszugehen.

Im oberflächennahen Bereich der Dezimeter- bis Meterskala wird die Congelifraktion hauptsächlich durch hochfrequente (tägliche) Frier-/Tauzyklen, der Wassersättigung des Gesteins und der Zugfestigkeit geklüfteter Felspartien beeinflusst. Vor allem das Wasserangebot (Schneeschmelze etc.) spielt eine entscheidende Rolle, weshalb die Art oberflächennaher Frostverwitterung in relativ feuchten Gebieten mit Jahreszeitenfrost (Sonnenseiten alpiner Berggipfel) effektiv ist (HAEBERLI, 1997).

Steinschlagphänomene weisen regional eine hohe Bedeutung auf; BLOETZER und STOFFEL(1998)weisen zum Beispiel auf einen Abschnitt des Schusslauizuges (CH) in ca. 3000m üNN hin, der durch intensive Steinschlagphänomene infolge von Frostsprengung gekennzeichnet ist – Felsstürze und Steinlawinen treten ebenfalls auf. Diese Phänomene im Hochgebirge werden zunehmen, ihre Bedeutung in dieser Höhenlage für den Menschen ist meist gering, da diese den Dauersiedlungsraum nicht betreffen, jedoch eine zusätzliche Gefahr für Wanderwege und andere touristische Einrichtungen darstellen.

Die Zunahme von Frostwechselvorgängen in Verbindung mit der in Zukunft

besonders im Winterhalbjahr erhöhten Menge an Wasser kann auf die Stabilität von Felsmassen eine negative Wirkung zeigen und auslösend sein: Kluftwasser gefriert in den Klüften und Spalten (→ Druckerhöhung beim Phasenwechsel Wasser-Eis) und es kann zur Auslösung kommen. Die zwei Felsstürze auf der Sandalp (Schweiz) sind bei derartigen Bedingungen (Wasserverfügbarkeit, Frostwechsel) abgefahren (RAETZO-BRÄLHART, 1997).

- Hydrologische Faktoren: Die Erosionswirkung wurde bereits in 3.1.3 angesprochen und ist längerfristig zu sehen. Eine auslösende Wirkung kann dann gegeben sein, wenn zum Beispiel bei einem Hochwasser die Hangunterschneidung das Grenzgleichgewicht stört und es zur Ablösung kommt. Eine in dieser Hinsicht zu erwartende Zunahme durch das vermehrte Auftreten von Hochwasserereignissen durch vermehrte Starkniederschläge muss eher ausgeschlossen werden, da dies rezent und in der Vergangenheit keine große Rolle spielte (keine Literaturhinweise).
  Ein wesentlicher exogen bedingter Auslösungsmechanismus ist die Nährung von Gleithorizonten (endogen) durch Infiltration (exogen), damit verbunden ist eine Kohäsionsverringerung und eine Senkung des Scherwiderstandes – siehe dazu: *Hydrogeologische Faktoren, Porenwasserdruck.*
  SCHMELZER (1998) weist auf die auslösende Wirkung eines hohen Porenwasserdrucks hinsichtlich einer Beschleunigung von langsamen tiefreichenden gravitativen Massenbewegungen hin – also zum Übergang in einen Sturzprozess. Unter Annahme der Richtigkeit der Szenarien muss in Zukunft bezüglich des Porenwasserdrucks dem Winter (Niederschlagszunahme, steigende 0-Grad Grenze, Schmelzvorgänge und geringe Verdunstung) besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.
  ROULLIERS ET AL (1997) führten im Rahmen des NFP31 Projektes eine intensive Studie in der Gemeinde St. Nikolaus (CH) durch. im Gemeindegebiet konnten rund 150 (!) Gefahrenherde bezüglich Sturzprozessen ausgemacht werden, wobei die 13 potentiellen Bergsturzzonen (Studie CRSFA, 1994) keine erhöhte Gefahr darstellen – bei den potentiellen Felssturz- und Steinschlagzonen konnte teilweise eine Beeinflussung durch die Wasserzirkulation festgestellt werden. In der Felswand südlich Riedji besteht eine erhöhte Felssturzgefahr, die durch die Wasserzirkulation beeinflusst zu werden scheint; im Bereich Stockschleif sind bei einer Wassersättigung eines Kolluviums aus Sturzmaterial und Moränenmaterial auch in Zukunft (wie 1995)

Auswürfe und Blockstürze (Sekundärsturz von bereits abgelagertem Material) zu erwarten !

Diese Beispiele sollen die auslösende Beeinflussbarkeit der Prozesse verdeutlichen, wobei wiederum darauf hingewiesen werden muss, dass ein direkter Zusammenhang mit den Phänomenen des Global Change bzw. eine künftige Beeinflussung nicht prognostiziert werden kann, jedoch kann aufgrund der bereits genannten Faktoren (Niederschlagsentwicklung, Permafrostdegradation, ...) von einer eher negativen Beeinflussung ausgegangen werden, sodass in Zukunft eine leichte Zunahme zu erwarten ist.

- Anthropogene Faktoren: Mit dem Begriff Global Change werden meist die indirekten Auswirkungen des menschlichen Handelns in Verbindung gebracht, jedoch sollten im Zusammenhang mit Sturzprozessen auch die direkten Folgen des menschlichen Eingriffs in die Natur nicht vernachlässigt werden: Unüberlegte Bautätigkeit in Hanglagen, Steinbrüche, Bergbau (zum Beispiel der Felssturz am Eiblschrofen bei Schwaz/Tirol) und Staudämme sind mit zunehmenden Eingriff in den natürlichen Systemzustand als auslösend zu sehen. Eines der meist zitierten Beispiele (zB. PATRICK L. ABBOT, 1996; ABELE, 1974) ist das Ereignis von Vaiont, 1963 (Italien). Die Aufstauung des Tales hat die begrenzenden Hänge durch den Auftrieb destabilisiert, sodass in Folge der Hang in den mit 150 Mio. m^3 Wasser gefüllten Stausee stürzte und eine tödliche Flutwelle auslöste.

Gletschersturz

Gletscherstürze sind zur Gruppe der schnellen gravitativen Sturzprozesse zu zählen.
In den Alpen stellen sie für die Bevölkerung – mit Ausnahme betroffener Gebiete – eine untergeordnete bis unbekannte Gefahr dar.
Wesentliche Faktoren sind interne Kräfte wie Zugspannungen und Druckspannungen (Kompression), die Kontaktzone Gletscher – felsiger Untergrund und die

Neigungsverhältnisse.

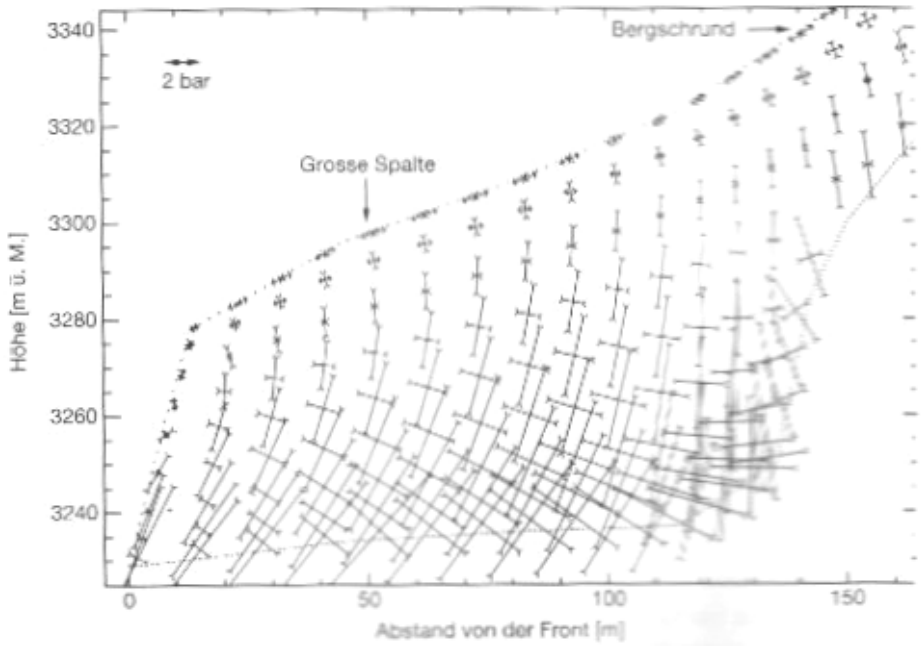


Abbildung 6: Verteilung der Hauptspannungen im Eigergletscher (Pfeile nach Innen: Kompression; Pfeile nach Außen: Zugspannung) (aus: HAEBERLI, 1999)

Viele Hanggletscher oder Gletscher mit stark geneigter Oberfläche scheinen an die Hänge regelrecht ‚angehängt'. Für KUNZ (1998) können diese ‚Kalten Gletscher' aufgrund einer klimatischen Erwärmung gemäßigt werden, wodurch ihre Stabilität angegriffen wird. Die Wechselwirkung Gletscher-Permafrostboden zeigt sich hier in aller Deutlichkeit: dank seiner Temperaturen unter der Nullgradgrenze spielt Permafrost eine Rolle als Stabilisator an der Basis und an der Front der Gletscher. Veränderte thermische Bedingungen im Kontaktbereich Gletscher/felsiger Untergrund können für die Auslösung differentieller Bewegungen im Eisinneren ausschlaggebend sein (KUNZ, 1998).
Beispielhaft für diesen Vorgang ist der Eigergletscher im Berner Oberland; aufgrund der internen Zerbrechung kann es zu einem Eissturz kommen, wobei ca. 100 000 m³ Eis (HARBERLI, 1999) die Station Eigergletscher der Jungfraubahn bedrohen.
PETRASCHECK (1998) erwartet durch die Erwärmung eine zunehmende Gefahr durch die Loslösung von Hängegletschern, andererseits wird der kontinuierliche Rückgang der Gletscher die Abbruchgefahr mindern. Hierbei gilt es jedoch zu beachten, dass sich die Gletscher vielfach in die steilen Hänge ihrer Einzugsgebiete zurückziehen und ihre ‚Eisstütze' im flacheren Bereich verlieren, sodass mit dem Ansteigen der 0-Grad Grenze sukzessiv die oben beschriebenen Prozesse in den steilen Hängen einsetzen können (EGLI und PETRASCHECK, 1998).
HAEBERLI ET AL erläutern unter anderem am Beispiel der Gletscher vom Weisshorn –

Gemeinde Randa (CH) einerseits die Bedeutung von Gletscherstürzen in den Alpen (letzter aktueller Eissturz am Weisshorn: 1972/73 – erreichte den Talgrund nicht), andererseits die entschärfende Wirkung der allgemeinen Gletscherdepression: Aus heutiger Sicht wird aufgrund des sukzessiven Gletscherrückzugs eine weitere Gefahr für Randa ausgeschlossen. Zu beachten sind auch Sekundärwirkungen von Gletscherabbrüchen und Eisstürzen: Vielfach bilden sich innerhalb der Moränen Seen, deren Damm aus Moränenmaterial allerdings sehr instabil ist. Eisstürze in diese Seen haben vielfach eine Flutwelle und den Bruch des Damms zur Folge.

Mit dem zunehmenden Gletscherrückzug sind wesentliche Voraussetzungen für diesen Prozess gegeben: Abschmelzen → Seebildung. Diese Prozesse sind rezent zunehmend im Himalaja zu beobachten und werden zukünftig verstärkt zu beachten sein – auch hinsichtlich der möglichen letalen Folgen für die Bevölkerung.

Tabellarische Zusammenstellung

	k.i. NS	FW	EPF	EGL	ER	Tendenz
Steinschlag	2	3	2	2	1	leichte Zunahme
Felssturz	2	3	2	2	1	lokale Zunahme
Bergsturz	2[2]	1-2	1-2	2	1	eher gleichbleibend

Tabelle 1: Zusammenfassung der Sensibilität der Prozesse bzgl. einzelner Faktoren (eigener Entwurf/Zusammenstellung): 1 = schwache Sensibilität, 2 = mittlere S., 3 = starke Sensibilität. (Abkürzungen: k.i.NS = kurze, intensive Niederschläge, Starkniederschläge; FW = Zunahme Frostwechselvorgänge; EPF = Erwärmung+Permafrostdegradation; EGL = Erwärmung+Gletscherdepression; ER = Erosionswirkung

BLOETZER und STOFFEL beziehen sich in einer tabellarischen Zusammenstellung auf die Naturgefahren der Vispertäler(CH) im Rahmen des Klimawandels:

Gefahrenart	**Tendenz**	**Mögliche Auswirkungen**
Steinschlag	gleichbleibend/leichte Zunahme	Eine Zunahme der Steinschläge könnte allenfalls durch vermehrt auftretende Extremwettersituationen stattfinden. Die Kenntnisse über sich verändernde Starkniederschläge sind noch vage.
Felssturz	lokale Zunahme	Eine Zunahme der Felsstürze kann durch einen generellen Anstieg der Permafrostgrenze und durch extreme Niederschlagsereignisse vermutet werden
Bergsturz	keine Veränderung	Bergstürze sind geologischer Natur. Deshalb sollten sie durch die Klimaveränderungen in keinerlei Hinsicht beeinflusst werden.
Eissturz	Zu- und Abnahme (Hängegletscher – Talgletscher)	Der Rückzug führt zu einer Abnahme der Gefahr; die Temperierung von Hängegletschern könnte zu einer Destabilisierung führen.

Zusammenfassende Bewertung

ROULLIERS ET AL (1997) bringen das Problem bezüglich der Untersuchbarkeit des Zusammenhanges Sturzprozesse – Global Change auf den Punkt: Der Bergsturz von Randa hat erwiesen, dass weder die Wissenschaftler noch die Behörden in der Lage waren, ein

[2] insbesondere die Sensibilität bzgl. der Auslösung

derartiges Ereignis vorauszusehen. (...) Weil die Auslösungsmechanismen dieser Naturphänomene(Sturzprozesse) kaum je richtig erfasst wurden, konnte der Einfluss der Klimaänderung vorläufig nicht untersucht werden.
HAEBERLI (1997) weist darauf hin, dass entsprechende Grundlagen (Modelle, wie zum Beispiel für Murgänge) für Felsstürze aus periglazialen Gebieten fehlen und kaum in einfacher Weise hergeleitet werden können, da lokale Aspekte wie zum Beispiel Lithologiebedingte Anisotropie einen dominanten Einfluss haben dürften. HAEBERLI (1997) weist auch auf die fehlenden Untersuchungen des Einflusses von Permafrost auf die Stabilität von Felsflanken hin, da mit dem Permafrost bis dato nahezu unbekannte Tiefen- und Zeitskalen ins Spiel kommen.
Dies bedingt die Beschränkung auf qualitative Aussagen und Szenarien, wobei folgende zusammenfassenden Aussagen getroffen werden können:

- aktuelle und zukünftige Phänomene werden fast komplett in bisherigen Instabilitätszonen liegen, nicht zuletzt aufgrund der wesentlichen Abhängigkeit von endogenen Faktoren (Geologie, Tektonik, Lithologie, Mineralogie, ...)
- Wesentliche Einflussfaktoren werden die Permafrostdegradation, der Gletscherrückgang und die Zunahme von Starkniederschlägen sein.
- Die möglichen Auswirkungen werden aus diesem Grund insbesondere das Hochgebirge betreffen. HAEBERLI (1997) spricht von einer ausgesprochen sensiblen Reaktion des Permafrostes und der Gletscher auf Klimaänderungen, wobei sich der weltweite Temperaturanstieg seit dem letzten Jahrhundert markant in der periglazialen und glazialen Höhenstufe ausgewirkt hat.

Aus den tabellarischen Zusammenstellungen geht hervor, dass in Summe die Auswirkungen des Global Change auf die Sturzprozesse im Vergleich zu anderen Naturgefahren (zum Beispiel Murgänge) als minimal zu bezeichnen sind, insbesondere bei den großen Ereignissen (Bergsturz) spielen exogene Faktoren eine untergeordnete Rolle.
Im Zusammenhang mit den Prozessen werden folgende Forderungen für die Zukunft gestellt: Systematische (genormte) Erfassung von Sturzprozessen, ähnlich dem World Glacier Monitoring Service, welches sich auch der ‚Gletscherkatastrophen' annimmt; ROULLIER et al stellten im Rahmen des NFP31 das fehlende Wissen über die Auslösungsmechanismen fest und entwickelten eine Methode zur Felserkundung, namens *Matterrock*.
HAEBERLI (1997) weist darauf hin, dass die größten wissenschaftlichen Probleme beim Umfang resp. der Repräsentativität der untersuchten Stichproben und beim Prozessverständnis von katastrophalen Ereignissen bestehen; eine systematische

Dokumentation ist nicht institutionalisiert, entsprechende Aktivitäten sind von der Interessenslage (und den Mitteln) weniger Spezialisten abhängig.

Auswirkungen auf die Kulturlandschaft und Herausforderungen für die Raumplanung

Grundlagen

Naturgefahren beschäftigen den Menschen, wenn diese seinen Lebensraum bzw. seinen Aktionsraum beeinflussen; eine Naturgefahr (natürlicher Prozess) wird zur Katastrophe wenn der Mensch ‚geschädigt' wird (vgl. Hazard-Forschung als Teilgebiet der Geographie).
Die Lebensformen des Menschen und deren Auswirkungen auf seine Umwelt haben sich markant geändert: ständige Ausdehnung des Siedlungsraumes, zunehmende Bedeutung von Verkehrswegen und insbesondere markante Veränderungen in der Nutzung der hochalpinen Landschaft in den letzten Jahrzehnten: Verkehrserschließungen, Kraftwerksbauten, Skipistenplanierungen, Ausbau der touristischen Infrastruktur im Hochgebirge aufgrund mangelnder Schneesicherheit in tieferen Lagen und die Entdeckung des Hochgebirges als ‚Spielplatz' der modernen Freizeitgesellschaft.
Der zunehmende Raumbedarf birgt die Gefahr einer Überschneidung mit von Naturgefahren bedrohten Gebieten (Erhöhung der Vulnerabilität), sodass eine der Hauptaufgaben der Raumplanung im alpinen Raum die Sicherstellung einer geordneten Besiedlung (für eine optimale Wirtschaftsentwicklung) unter Berücksichtigung der Naturgefahren ist.
Gefahrenzonenpläne (in der Schweiz: Gefahrenkarte) ermö glichen eine Ausgliederung von Flächen, die einem Gefahrenpotential unterliegen.

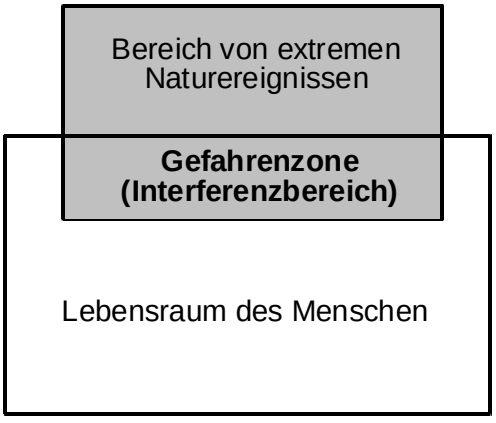


Abbildung 7: Naturgefahr/Lebensraum (KUNZ, 1998)

Das Phänomen Global Change stellt die Raumplanung nun vor folgende zwei Fragen:

- Mit dem Klima ändert sich einerseits die Nutzung, dadurch ändert sich auch der Raumbedarf für bestehende Nutzungen, evtl. kommen neue hinzu.
- Andererseits ändern sich mit der Klimaänderung auch die Naturgefahren, dies kann zu einer Verkleinerung des verfügbaren Raumes führen (Ausdehnung der Gefährdung) oder auch zu einer Erweiterung des verfügbaren Raumes führen (Abnahme der Gefährdung).(BLOETZER et al, 1998)

Im Rahmen dieser Arbeit spielt der zweite Punkt eine wesentliche Rolle: rezent werden zum Beispiel in Österreich und der Schweiz die Gefahrenzonenpläne mit Schwerpunkt auf Lawinen und Wildbäche (Murgänge, Hochwasser) erstellt, die Sturzprozesse spielen eine untergeordnete Rolle, dies erklärt auch die häufig ‚überraschend' auftretenden Ereignisse. Gefahrenzonenpläne stellen einen wichtigen Input für die Raumplanung dar, sodass von Seiten der Raumplanung eine Vollständigkeit bezüglich der Prozesse wünschenswert wäre. Die Raumplanung muss als vorausschauende Tätigkeit gesehen werden (Vgl. dazu: Örtliche Raumordnungskonzepte haben in Tirol einen Verordnungszeitraum von 10 Jahren), sodass eine Einbindung möglicher Veränderungen der Naturgefahren in die Gefahrenzonenpläne und somit in die Raumordnungskonzepte von großem Vorteil für eine längerfristige Nutzung des Raumes wäre; hierfür stellt die Prognosesicherheit der Gefahrenentwicklung einen wesentlichen Problempunkt für die Raumplanung dar:

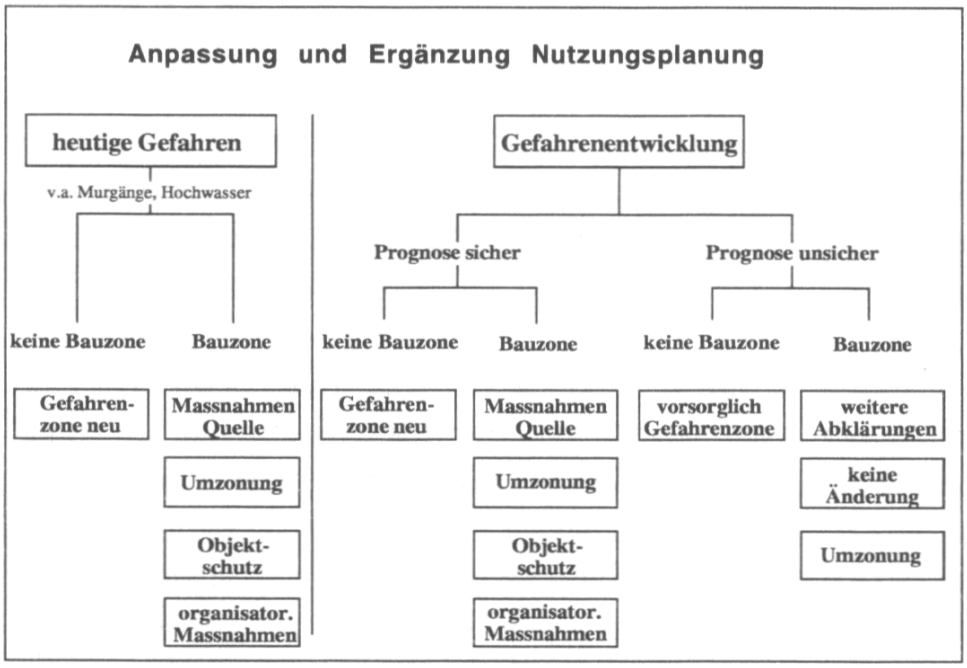


Abb. 8: Anpassung der Nutzungsplanung unter Berücksichtigung der Gefahrenentwicklung (BLOETZER et al, 1998)

Eine Implementierung der vorausschauenden Betrachtung von Naturgefahren in der Raumplanung durch den Gesetzgeber wäre in Anbetracht der sich verändernden Naturgefahrensituation wünschenswert.
Ausgehend von einer allgemeinen Zunahme der Gefahrenpotentiale wird in Zukunft verstärkt auf eine geschlossene, verdichtete Siedlungsweise zu achten sein, insbesondere im Hinblick der Vermeidung von Kosten für Schutzmaßnahmen.

Fallbeispiel „Weissseespitze“(Kaunertal / Tirol)

Im Gletscherschigebiet Kaunertal/Tirol haben Massenbewegungen in den Jahren 1996-1999 Teile der touristischen Infrastruktur bedroht. Die Nordflanke der Weissseespitze war von 1996 an (Erfassung des Prozesses) von einer Massenbewegung mit einer Kubatur von ca. 5 Mio. m^3 betroffen und hat den auf den Paragneisen auflagernden Gletscher miteingeschlossen (HEIßEL, 2000).
Eine Sperre des Skigebietes hätte existentielle Folgen gehabt, sodass man sich auf eine Beobachtung, trotz der möglichen Gefahr des Abgangs eines Bergsturzes, beschränkte, die mittels Befliegungen, Begehungen und Luftbildauswertungen erfolgte.
Es stellte sich heraus, dass die Bewegungsraten während der warmen Witterungsperioden zunahmen und die Sperre eines Liftes in diesen Perioden notwendig wurde.
Im Zuge der Beobachtungen stellte sich eine zunehmende Auflösung der Masse ein, sodass man zum Schluss kam, dass sich die Bewegungen einem unschädlichen Maß nähern und die Zukunft des Skigebietes gesichert ist (HEIßEL, 2000).
Die Ursache der Massenbewegung ist einerseits in der Geschichte der mittelsteil in Richtung Süden einfallenden Paragneise zu sehen (endogen), andererseits sind seit dem Quartär die formenden Kräfte der Verwitterung wirksam; Eis und Wasser, Frost-Tauwechsel und die Gravitation haben eine teils tiefgründige Auflockerung des Festgesteinsverbandes bewirkt. Während der kälteren Witterungsperioden wurde die Instabilität des Festgesteinverbandes durch den ‚Verkittungseffekt’ des Permafrost und die stützende Wirkung des mächtigen Gletschers im Vorfeld steiler Felsflanken verhindert. Das Abschmelzen der Gletscher und das Auftauen des Permafrost haben die Phase der Instabilität eingeleitet (HEIßEL, 2000).

Das Beispiel spiegelt die in 4.1 angesprochenen 2 Hauptfragen für die Raumplanung wider: Der Winter-Tourismus fordert die Erschließung des Hochgebirges mit dem Argument der Schneesicherheit in Zeiten einer Erwärmung, andererseits treten im Hochgebirge vermehrt Naturgefahren in Folge des Global Change auf. Dies wird zukünftig zu einem Konflikt führen, nicht zuletzt aufgrund der Tatsache dass der Tourismus in vielen Alpentälern den „Lebensnerv" der Bevölkerung darstellt und eine Einsicht nicht zu erwarten ist.

Literaturquellen

ABELE, G.: Bergstürze in den Alpen. Ihre Verbreitung, Morphologie und Folgeerscheinungen. – Wissenschaftliche Alpenvereinshefte 25, München 1974.

ABBOT, P.: Natural Disasters. – WCB-Brown, Dubuque 1996.

BADER, S. und KUNZ, P.: Klimarisiken – Herausforderung für die Schweiz. – Schlussbericht des Nationalen Forschungsprojektes 31. vdf Hochschulverlag AG, Zürich 1998.

BENISTON, M. und OHMURA, A.: Simulation of Climate Trends over the Alpine Region. – Schlussbericht NFP 31. vdf Hochschulverlag AG, Zürich 1996.

BLOETZER, W.; EGLI, Th.; PETRASCHECK, A. und STOFFEL, M.: Klimaänderungen und Naturgefahren in der Raumplanung – methodische Ansätze und Fallbeispiele. – Synthesebericht NFP 31. vdf Hochschulverlag AG, Zürich 1998.

CRUDEN, D.M. und VARNES, D.J.: Landslide Types and Processes. – in: TURNER, A.K. et al (Hrsg.): Investigation and Mitigation. Washington 1996.

DIKAU, R. (Hrsg.): Global Change – Konsequenzen für die Umwelt; Tagungsbericht 51. Deutscher Geographentag, Bonn 1997. – Steiner, Stuttgart 1998.

DÜRR, E.: Kalkalpine Sturzhalden und Sturzschuttbildung in den westlichen Dolomiten. – Tübinger Geographische Studien, Heft 37, 1970.

ERISMANN, T. und ABELE, G.: Dynamics of rockslides and rockfalls. – Springer, Berlin 2001.

HAEBERLI, W.: Eisschwund und Naturkatastrophen im Hochgebirge. – Schlussbericht NFP 31. vdf Hochschulverlag AG, Zürich 1999.

HAEBERLI, W.: Hangstabilitätsprobleme im Zusammenhang mit Gletscherschwund und Permafrostdegradation im Hochgebirge. – in: Global Change – Konsequenzen für die Umwelt. Tagungsbericht 51. Deutscher Geographentag, Bonn 1997, Band 3.

HEIßEL, G. und WEBER, Ch.: Die Massenbewegungen an der ‚Weissseespitze' in den Jahren 1996-1999 im Gletscherskigebiet Kaunertal/Tirol. – in: Interpraevent 2000, Klagenfurt 2000.

KUNZ, P.: Klimarisiken – Herausforderung für die Schweiz. – Schlussbericht des Nationalen Forschungsprojektes 31. vdf Hochschulverlag AG, Zürich 1998.

LESER, H. (Hrsg.): Wörterbuch Allgemeine Geographie. Deutscher Tschenbuchverlag und Westermann Schulbuchverlag, München 1997.

MAISCH, M. et al: Auswirkung der Klimaänderungen auf die Gletscher und deren Vorfelder. – Schlussbereicht NFP 31. vdf Hochschulverlag AG, Zürich 1998.

NAUMANN, C.M. und SAVIGNY, K.W.: Large rock avalanches and seismicity in southwestern British Columbia, Canada. – in: BELL, D.H.(Hrsg.): Landslides. Glissements de terrain, Vol. 2. Rotterdam, Brookfield 1991.

NESJE, A.: Glaciers and environmental change. – Arnold, London 2000.

RAETZO-BRÄLHART, H.: Massenbewegungen im Gurnigelflysch und Einfluss der Klimaänderung. – Arbeitsbericht NFP 31. vdf Hochschulverlag AG, Zürich 1997.

ROULLIERS et al: Pentes instables dans le Pennique valaisan face au changement climatique : methodologie MATTEROCK, auscultation des falaises. – Schlussbericht NFP 31. vdf Hochschulverlag AG, Zürich 1997.

SASS, O.: Die Steuerung der Steinschlagmenge durch Mikroklima, Gesteinsfeuchte und Gesteinseigenschaften. – in: Münchner Geogr. Abhandlungen, 1998.

SCHEIDEGGER, A.: Tektonische Aspekte von Bergstürzen. – in: Interpraevent 2000, Klagenfurt 2000.

SCHMELZER, R.: Massenbewegungen im Hochgebirge. – Hrsg.: Akademicke nakladatelstvi CERM, Brno, Czech Republic 2000.

SLAYMAKER, O.: Physical geography and global environmental change. – Longman, Harlow 1998.

WANNER, H.: Die großräumige Klimavariabilität und ihr Einfluss auf den Alpenraum und die Schweiz. – Schlussbericht NFP 31. vdf Hochschulverlag AG, Zürich 1998.

WANNER, H.: Klimawandel im Schweizer Alpenraum. – Schlussbericht NFP 31. vdf Hochschulverlag AG, Zürich 2000.

1 EINLEITUNG 2

1.1 Summary 2

1.2 Methodik der Arbeit 3

2 BEGRIFFSDEFINITIONEN 4

2.1 Steinschlag 5

2.2 Felssturz 5

2.3 Bergsturz 5

2.4 Gletschersturz 5

2.5 Global Change 5
2.5.1 Themenrelevante Faktoren des Global Change 6

3 FAKTORENANALYSE DER BEEINFLUSSBARKEIT VON STURZPROZESSEN DURCH PHÄNOMENE DES GLOBAL CHANGE 6

3.1 Gesteinsbezogene Sturzprozesse 6
3.1.1 Allgemeines 6
3.1.2 Permanente Faktoren 7
3.1.3 Variable Faktoren 8
3.1.4 Auslösende Faktoren 14

3.2 Gletschersturz 18

3.3 Tabellarische Zusammenstellung 21

3.4 Zusammenfassende Bewertung 21

4 AUSWIRKUNGEN AUF DIE KULTURLANDSCHAFT UND HERAUSFORDERUNGEN FÜR DIE RAUMPLANUNG 23

4.1 Grundlagen 23

4.2 Fallbeispiel „Weissseespitze“(Kaunertal/Tirol) 25

5 LITERATURQUELLEN 26