

**Ansgar Präg****Die Folgen des Klimawandels im alpinen Gebirgsraum für den Wasserkreislauf der voralpinen Ballungsräume**

Abb. 1: Gornergletscher mit Monte Rosa 1991

Die Zeichen des „schleichenden“ Klimawandels sind seit 1985 in den Alpen und in anderen alpinen Hochgebirgen (Himalaya, Anden, Kaukasus und Rocky Mountains) unübersehbar geworden.

In dieser Abhandlung will ich insbesondere auf die Bedeutung des Gletscherschwunds und des Rückgangs des Permafrostbodens eingehen. Außerdem wird auf den substantiellen Einfluss auf den gesamten Süßwasserkreislauf hingewiesen. Diese beobachtbaren Änderungen im Wasserkreislauf haben große Bedeutung sowohl für die regenerative Energiebereitstellung durch Speicherseen als auch

für die Trinkwasserversorgung von voralpinen Ballungsräumen, wie zum Beispiel Stuttgart, Zürich, München und Wien, sowie Turin, Mailand, Lyon, Nimes, Grenoble und Marseille. Denn die Gletscher sind seit Jahrhunderten wichtige Trinkwasserspeicher. In der warmen Jahreszeit wird das Gletscherschmelzwasser in kleinen Aquädukten bis ins Tal geleitet. Sie werden im Vinschgau Waale und im Wallis Suonen genannt und sind zur Bewässerung von Spezialkulturen in den relativ trockenen Talschaften von Etsch und Rhone essentiell. Die Quellflüsse von Rhone, Rhein, Aare, Po, Etsch und Inn entspringen in den großen Gletscherregionen der Alpen.



Abb. 2: Lisgletscher auf der italienischen Südseite des Monte Rosa 2007



Abb. 3: Der Steingletscher (Kanton Bern) im August 1997. Die Gletscherzunge reicht fast bis an das südliche Ufer des Steinsees.

**Gletscher werden seit über 150 Jahren beobachtet und erforscht. Wichtige glaziologische Fachbegriffe sind neben der Gletscherschmelze die Zehr- und Nährgebiete**

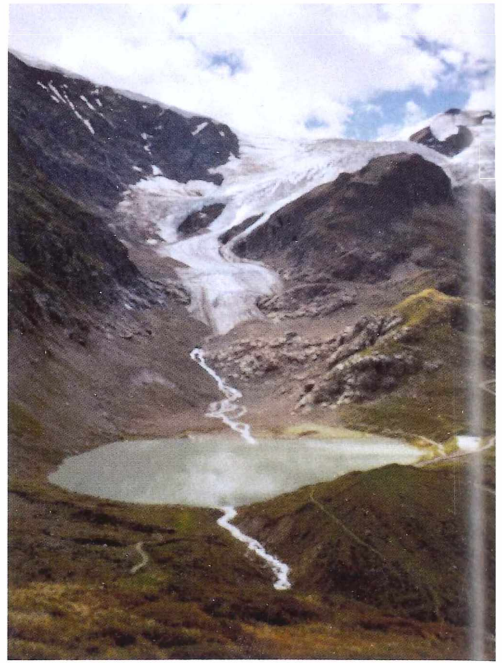


Abb. 4: Der Steingletscher mit Schmelzwassersee im Sommer 2011. Der Gletscher hat sich bis zu einer felsigen Steilstufe zurückgezogen.



Abb. 5: Rhonegletscher vom Kleinen Furkahorn 2011



Abb. 6: Oberlauf des Rhonegletschers: Nährgebiet 2011

des Gletschers. Während im Nährgebiet eines Gletschers mehr Schnee fällt als abtaut, ist dies im Zehrgebiet gerade umgekehrt, so daß im Sommer die Eisoberfläche schneefrei (aper) wird. Wichtig ist außerdem die sogenannte geografische Ablation (d.h. die Abtragung durch Abschmelzen oder die erhöhte Erosion durch schnell fließende, *weiße Gletschermilch mit sich* transportierende Gletscherbäche). Dazu kommt die Sublimation, wenn um die Mittagszeit durch die Sonneneinstrahlung das Eis direkt in Wasserdampf umgewandelt wird. Dies führt in der Regel nachmittags zu einem Anstieg der Luftfeuchtigkeit und mit dem kühlen *Gletscherwind* zur Bildung von Quellwolken.

### Der Zusammenhang von Klimawandel und erhöhter Gletscherschmelze

Gletscher sind markante Indikatoren für den Klimawandel, insbesondere für die atmosphärische Erwärmung der Erdoberfläche nahe dem Temperaturnullpunkt. Gefrorenes Gletschereis, das zu Wasser abschmilzt wird daher auch als „Fieberthermometer“ bezeichnet. An den meisten alpinen Gletschern ist ein markanter Rückgang zu beobachten. Als exemplarische Beispiele zu diesem Thema seien folgende Gletscher im Foto angeführt: Der 12.9 km lange und 54 km<sup>2</sup> große Gornergletscher am Monte Rosa (Abb. 1 vom Sommer 1991). Der Lisgletscher in der autonomen Region Aostatal. (Abb.2 vom August 2007). Das in Ost-Tirol nach Süden fließende Umbalkees mit 4.52 km<sup>2</sup> Fläche (Venedigergruppe) und das nach Ost (das heißt zum Sonnenaufgang) exponierte Schlatenkees mit 11.3 (1984) bzw. 9 km<sup>2</sup> Fläche unterhalb des Wanderwegs zu Neuen Prager Hütte (Östliche Venedigergruppe, Osttirol). Der Steingletscher mit etwa 8.1 km<sup>2</sup> (Abb. 3 im Jahr 1997 und Abb. 4 im Jahr 2011) und der Obere Grindelwaldgletscher (Abb. 14) sind beide nach Norden über eine Geländestufe aus Fels fließende und daher spalten-



Abb. 7: Großer Aletschgletscher 1990



Abb. 8: Gletscherspalte am Großen Aletschgletscher 1990



Abb. 9: Similaun mit Marzellferner 1989

reiche Gletscher im Schweizer Kanton Bern. Der 7.8 km lange Rhonegletscher mit einer Fläche von 17.4 km<sup>2</sup> fließt nach Süden (Kanton Wallis) und wurde wegen der Nähe zum Furkapass vom Autor mehrfach aufgesucht (Abb. 5 „Unterlauf“ und Abb. 6 „Oberlauf“, beide im Jahr 2011). Sein dramatischer Rück-



Abb. 10: Königspitze mit Nährgebiet des Suldenferners in der Ortlergruppe 1989

zug ist leicht erkennbar an dem „Wandern“ der künstlichen Eisgrotte (jährlich mehrere Dutzend Meter) und dem neuentstandenen, weiter wachsenden Gletschersee an der Eiszunge, sowie aus der Vogelperspektive von der Spitze des Kleinen Furka-Horns (3026m). Hier kann man an den *frischen Seitenmöränen* eine erhebliche Abnahme der Eisdicke feststellen. Ähnliches gilt für den ebenfalls nach Süden fließenden Großen Aletschgletscher (Abb. 7, Berner Alpen, Kanton Wallis) den mit 24.7 km Länge und 86.8 km<sup>2</sup> Fläche bei weitem größten Alpengletscher (Zahlenwerte von 1984). Jedes Jahr muss die Treppe zwischen Konkordiaplatz und Konkordiahütte um mehrere Stufen verlängert werden, damit die Bergsteiger vom schwindenden Gletscher aus noch die Hütte erreichen können. Am Konkordiaplatz beträgt die Dicke der Eismassen etwa 850 m. Die Abb. 8 zeigt eine Gletscherspalte am Großen Aletschgletscher in der Nähe des Konkordiaplatzes. Der Similaun mit dem Marzellferner in den Ötztaler Alpen wurde im Sommer 1989 fotografiert (Abb. 9). In den Südtiroler Ortleralpen befindet sich der Suldenferner mit 11 km<sup>2</sup> Fläche (Abb. 10 vom Sommer 1989). Der

2.1 km lange und 1.8 km<sup>2</sup> große Lavaz-Gletscher im Kanton Graubünden ist nur noch ein kleines Relikt der letzten Eiszeit (Das Ende der Würm-Kaltzeit war vor etwa 10000 Jahren). Im Jahr 2011 war der Kontakt zwischen Nähr- und Zehrgebiet (Abb. 11) abgerissen und die bloßen Felsen traten zu Tage. Die Abb. 12 vom Jahr 2011 zeigt einen **Gletschertisch** auf dem aperen Lavazgletscher, der sich gebildet hat, nachdem ein Felsbrocken durch Schattenwurf das darunterliegende Eis vor dem direkten Sonnenlicht und somit vor dem Abschmelzen schützte. Man kann in dieser Abb. 12 auch gut die Schmelzwasserrinnen an der Gletscheroberfläche erkennen. Zwischen 2008 und 2010 wurde am Lavazgletscher eine Längenänderung von minus 14.4 m im Jahr gemessen (siehe:www.sac-cas.ch). Das bedeutet, dass dieser Kar-Gletscher in Graubünden in weniger als 35 Jahren gänzlich verschwunden sein wird.

Zum Vergleich: Im östlichen, niederschlagsreichen Himalaya in Arunachal Pradesh (Nordost-Indien) sind bereits mehr als 2000 Gletscher verschwunden (Quelle: www.gletscherarchiv.de).



Abb. 11: Lavazgletscher in Graubünden 2011



Abb. 12: Gletschertisch am Lavazgletscher 2011

Der größte Bündner Gletscher, d.h. der Morteratschgletscher in den **Bernina**-Alpen war 1984 noch 7500 m lang und 17.1 km<sup>2</sup> groß. Der Persgletscher (i.e. *Vadret Pers am Normalweg zum Piz Palü*) mündete 1992 noch in den längeren Morteratschgletscher, was im Sommer 2007 nicht mehr der Fall war. Im Jahr 2010 wurde eine Längenabnahme von 50.6 m pro Jahr festgestellt. Dies stellte da-

mals den *dritten Platz* bei allen Schweizer Gletschern dar ([www.sac-cas.ch](http://www.sac-cas.ch)). Den *absoluten* Rekordwert des Gletscherrückgangs hatte mit 196 m der Gauligletscher. Die Eiszunge mündet in einen vorgelagerten See, der seit 2000 immer größer wird. Den zweiten Platz hatte der oben erwähnte Steingletscher *mit 122 m Rückgang innerhalb eines einzigen Jahres*. Der Gauli-, Stein- und der Triftgletscher mit dem Triftsee befinden sich im Kanton Bern und werden für das **Aare-Tal** als mittelfristig gefährlich eingestuft. Quelle: [www.glaciology.ethz.ch/glacier-hazards/inventar.html](http://www.glaciology.ethz.ch/glacier-hazards/inventar.html).

Beim nach Norden fließenden Triftgletscher (Fläche 16.5 km<sup>2</sup>) hat sich in den vergangenen zwölf Jahren ein Gletschersee unterhalb der Zunge gebildet. Die Wanderwege zur Trifthütte (Kanton Bern) mussten neu angelegt werden, eine etwa 120 m lange Hängebrücke wurde über den *neuen Triftsee* gebaut. Siehe: [www.grimswelt.ch](http://www.grimswelt.ch). Im Jahr 2010 wurde am Triftgletscher eine Längenminderung von 23.5 m gemessen. Es besteht die Gefahr, daß dieser Triftsee eines Tages ausbricht und zu Überschwemmungen im Haslital führt.

Außerdem wurde das nach Norden fließende 2.4 km lange und 3.9 km<sup>2</sup> große Zillertaler Waxeckkees fotografiert (Abb. 15 vom



Abb. 13: Turnerkamp mit Waxeckkees und Hornkees vom Schönbichlerhorn in den Zillertaler Alpen 1991



Abb. 14: Oberer Grindelwaldgletscher 1994



Abb. 15: Großer Möseler und Waxeckkees 1991. Gut erkennbar ist die alte Randmoräne.

Sommer 1991), das sich nördlich des Großen Mösellers (3480m) befindet. Von der Berliner Hütte aus gut erkennbar ist noch die alte Randmoräne von 1850. Der Aufnahmestandpunkt am Schönbichlerhorn (3134m) ist etwas weiter westlich und die zugehörige

Abb. 13 vom Jahr 1991 zeigt den Turnerkamp mit Hornkees im Hintergrund und Waxeckkees im Vordergrund. Im Großglocknermassiv fließt nach Osten die Pasterze, die mit 9500 m Länge und 19.8 km<sup>2</sup> Fläche den größten Gletscher Österreichs bildet (Hohe Tauern). Die Eisdicke des Pasterzenkeeses hat seit Beginn der Messungen um über 200 m abgenommen. Die Abb. 17 zeigt die Kaiser Südseite des Großglockners zusammen mit dem Ködnitzkees. Der 3600 m lange Vernagtferner mit 9.5 km<sup>2</sup> Fläche befindet sich im Rofental oberhalb von Vent in den Ötztaler Alpen. Die Abbildungen 18 und 19 zeigen den Rofenkarferner unterhalb der Wildspitze (Tirol) und wurden im September 1990 am Seufertweg zwischen der Vernagthütte (2755 m) und der Breslauer Hütte (2840 m) aufgenommen. In den Schweizer Westalpen fließt nach Süden der 16 km lange und 33.1 km große Fieschergletscher (Abb. 21 vom Juli 1990). Markante Gletscher in den Walliser Alpen sind außerdem der Theodulgletscher (Abb. 16) und der Grenzgletscher (Abb. 20). Beide Abbildungen wurden im August 1991 aufgenommen. Die Abb. 22 vom August 1989 zeigt den breiten Zufallferner, der nach Norden fließt und sich in der Südtiroler Ortlergruppe befindet.

Der nach dem äußerst starken Erdbeben im Himalaya (25. April 2015) in die Schlagzeilen geratene 7.5 km lange Khumbugletscher auf der Westseite des Mount Everest (8850m) zwischen 5400 und rund 6000 m Höhe (Video auf [www.welt.de/videos/article140222310](http://www.welt.de/videos/article140222310) und [www.diepresse.com](http://www.diepresse.com)) ist ein anschauliches Exempel für einen Eisbruch mit Seracs und mehr als 80 m tiefen Gletscherspalten, die nur mit Leitern überwunden werden können. Während dieses Erdbebens wurde sogar das Mount-Everest-Basislager teilweise durch eine Lawine verschüttet. Schon am 28.04.2015 wurde im Deutschen Fernsehen von einem jahreszeitlich früh beginnendem Monsunregen im Kathmandutal berichtet,



Abb. 16: Das Breithorn und der Theodulgletscher im Wallis 1991

was natürlich die Rettungseinsätze zusätzlich behinderte ([www.swr.de](http://www.swr.de), [www.zdf.de](http://www.zdf.de)). Weltweit ist dabei der Rückgang nicht nur bei der Gletscherzunge zu sehen, sondern auch im Volumen, wenn die Dicke und damit die Eismasse abnimmt. Man spricht dann von einem glaziologischen Massenverlust oder von einer *negativen Massenbilanz*. Die zeitliche Verzögerung eines messbaren Rückgangs beträgt etwa 30 Jahre, d.h. jetzt beobachtet man die Folgen der bereits vor 30 Jahren erreichten Klimaerwärmung. Somit stellen Gletscher ein bedeutendes **Klimaarchiv** dar. Die Information über vergangene



Abb. 17: Großglockner mit Ködnitzkees 1989

Jahrhunderte kann über Bohrkern gewonnen werden, indem in die Tiefe des Gletschers gebohrt wird. Besonders groß ist der Massenverlust, wenn Nähr- und Zehrgebiet des Gletschers nicht mehr miteinander zusammenhängen. Wenn z. B. bei einer Geländestufe ein Abriss des Eises erfolgte und die Felsen zu Tage treten. Häufig bilden sich Gletscherseen, die dann gefährlich werden können, wenn es zu einem plötzlichen Ausbruch des gespeicherten Wassers kommt. Dies kann zu verheerenden Verwüstungen im Tal führen. Bekannte historische Beispiele hierfür sind der Gurgler Ferner (11.1 km<sup>2</sup>) und der Vernagtgletscher (9.5 km<sup>2</sup>), die im 17. bzw. 18. Jahrhundert extreme Hochwasser-Katastrophen im Ötztal auslösten, als sich der Gletschersee plötzlich entleerte. Gegenwärtig wird der junge Gletschersee unterhalb des zurückweichenden Obersulzbachkeeses (15.3 km<sup>2</sup>) in der Venedigergruppe (Nationalpark Hohe Tauern) erforscht. Ein Ausbruch dieses Gletschersees ist zwar zur Zeit nicht zu erwarten, hätte aber bei fortschreitenden Veränderungen der älteren Endmoräne gravierende Auswirkungen auf das gesamte Salztal (Pinzgau von Mittersill bis Zell am See, Bundesland Salzburg).

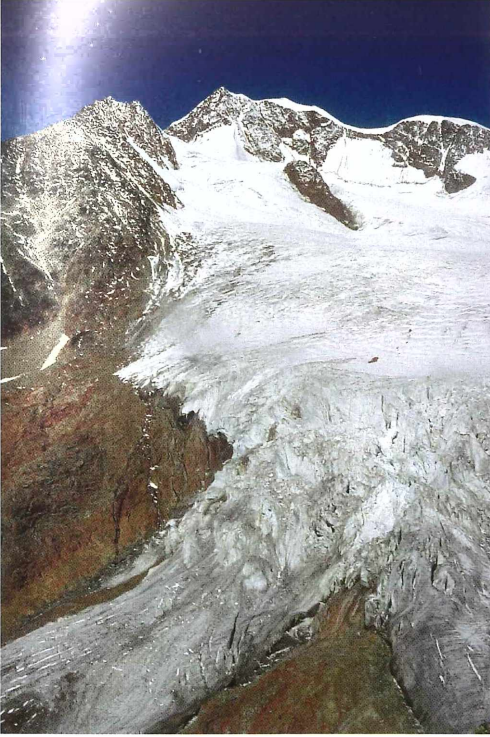


Abb. 18: Rofenkarferner mit Wildspitze 1990



Abb. 19: Der Rofenkarferner mit der Wildspitze in Tirol 1990

Bei der Verbrennung fossiler Rohstoffe entstehen nicht nur Kohlendioxid und diverse Stickoxide, sondern auch Ruß, der sich auf allen Gletscheroberflächen ablagert, so zu einer farblichen Veränderung der Gletscheroberflächen führt und wegen der erhöhten Absorption des Sonnenlichts (Stichwort: Albedo) zu einer schnelleren Abschmelzung der Gletscher beiträgt. Ein erhöhter Wasserabfluss ist zunächst die Folge, bis zum abrupten Ende, d.h. zeitweiser Trockenheit, sobald der gesamte Gletscher ab-

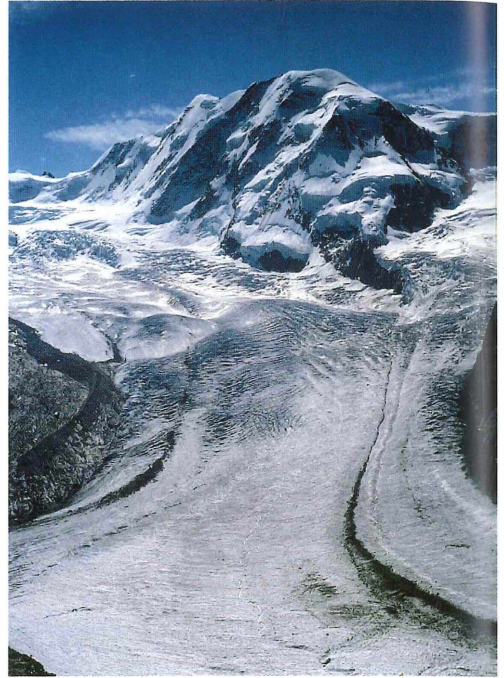


Abb. 20: Der Grenzgletscher im Wallis mit Liskamm 1991



Abb. 21: Fieschergletscher im Wallis 1990



Abb. 22: Zufallferner in der Ortlergruppe 1989



geschmolzen ist. Im alpinen Raum sind hier durchaus Höhenlagen bis etwa 3500m betroffen. Die Konzentration klimarelevanter Treibhausgase wie  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  und Methan  $\text{CH}_4$  nimmt in der Atmosphäre seit einigen Jahrzehnten kontinuierlich zu. (Quelle: www.wikipedia.de). Die Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre ist jetzt ca. 0.04%. Am Beginn der Industrialisierung um 1850 war dieser Wert noch bei 0.028% also über ein Viertel niedriger.

Im Himalaya lässt sich sogar in noch größeren Höhenlagen zwischen etwa 4500 m bis über 6000 m Ruß und Feinstaub nachweisen, der aus den Ballungsräumen Indiens vom Monsunwind nordwärts bis ins Hochgebirge verlagert wird. An einem 108m langen Eisbohrkern von einem über 6500m hochgelegenen Gletscher in der Nordflanke des Mount Everest läßt sich nachweisen, daß sich der Ruß erst seit etwa 1975 in größeren Mengen auf dem Gletscher ansammelt (www.psi.ch, www.scinexx.de). Die rasant ansteigende Bevölkerung im Norden Indiens trägt mit der Verbrennung von Öl, Gas, Kohle, Holz und Biomasse zu erhöhten Rußemissionen vor allem in den Wintermonaten bei. Diese Rußemissionen sind eindeutig vom Menschen verursacht. Bei starkem Monsunregen (Mai bis September) wird der anthropogene Russ allerdings ausgewaschen bevor er den Gebirgsrand erreicht. Manchmal kann der Scirocco-Wind auch Saharastaub aus Nordafrika nordwärts bis in die Alpen tragen und auf den Gletschern eine beige oder rötliche Verfärbung hervorrufen, was wiederum zu einer erhöhten Sonnenlichtabsorption beiträgt. Ruß, Staub und Gesteinschutt beschleunigen also zusätzlich zur globalen Temperaturerhöhung den Gletscherschwund in allen Hochgebirgen. (Sogenannte positive Eis-Albedo Rückkopplung).

In der Zukunft wird der gesamte **Wasserkreislauf** betroffen sein. Das reicht von ei-

nem statistisch messbaren Anstieg von Extremereignissen, wie verheerenden Überschwemmungen (das Alpenhochwasser vom 20. bis 23. August 2005 ist noch in bester Erinnerung, als sogar der Syvensteinspeicher (Isartal) geöffnet werden musste und mehrere Ortschaften im bayerischen Alpenraum von der Außenwelt abgeschnitten waren) , über Felsabstürze, die die Verkehrs-, Stromtrassen- und Telekommunikationsinfrastruktur bedrohen, bis hin zu extremen Dürreperioden, selbst an größeren Flussläufen, wie zB. dem Indus, dem Mekong, dem Ganges und dem Brahmaputra (diese bedeutenden Flüsse haben große Einzugsgebiete im Himalaya und im Hochland von Tibet) als auch zur unaufhaltsamen Ausbreitung der ariden Wüstengebiete auf der Erdoberfläche. In der ca. 6-18km (je nach geographischer Breitenlage) relativ dünnen Lufthülle der Erde werden außerdem atmosphärische Veränderungen beobachtet. Praktisch in allen Höhenlagen der Troposphäre, die die „Wetterküche“ bis rund 15 km Höhe über dem Erdboden beinhaltet sind meteorologische Variationen beobachtbar. Die Luftfeuchtigkeit, also die Konzentration des Wasserdampfs, und klimarelevanter Spurengase wie Methan, Aerosole, die Kondensation bei der Wolkenbildung sind durch die LIDAR-Technik von der Erdoberfläche aus physikalisch messbar. Unterschiedliche Gas-Moleküle ( $\text{CO}_2$ , Ozon  $\text{O}_3$ , Stickoxide, Methan etc.) sind mittels Raman-Spektroskopie detektierbar. Wiederrum von Wetter-Satelliten aus beobachtbar sind die Zugbahnen von Zyklonen (Tiefdruckgebiete) und tropischer Wirbelstürme (Taifune und Hurrikane). Scheinbar nimmt die Häufigkeit dieser tropischen Wirbelstürme mit Windgeschwindigkeiten über 200km/h zu. Auf den zu erwartenden Meeresspiegelanstieg, sowie die unterseeische Bedrohung der Korallenriffe will ich an dieser Stelle wegen Mangels an Detailwissen gar nicht eingehen.

## Die bisherige Bilanz des alpinen Gletschermassenverlusts seit 1850:

Verloren die Gletscher von 1850 bis 1975 etwa ein Drittel an Fläche und fast die Hälfte ihres Gesamtvolumens, so haben sie von 1975 bis 2010 ein weiteres Viertel Ihrer Masse eingebüßt. Besonders der lange heiße Sommer 2003 hat bezogen auf ein Jahr sehr viel Verlust an Eisvolumen in den Alpen verursacht. Eine erhöhte Anzahl von Murenabgängen selbst an Wander- und Verkehrswegen waren in den darauffolgenden Frühsommern die Folge. Außerdem waren die Jahre 2005, 2006 und 2008 und 2010 sehr warm. Schon 2014 erreichte der Gletscherschwund ein Ausmaß das erst für 2025 prognostiziert wurde ([www.gletscherarchiv.de/klimawandel](http://www.gletscherarchiv.de/klimawandel)). Vermutlich werden im Jahr 2100 ca. 90% der rund 5000 Alpengletscher vollständig abgeschmolzen sein.

### Meteorologische Extremereignisse:

Aktuelle Beobachtungen seit 2014: In insgesamt 11 Monaten des vergangenen Jahres 2014 wurden an zahlreichen inneralpinen Messstationen neue Temperaturrekorde registriert (Einzige Ausnahme war der Monat August). Allgemein bekannt ist die „frühe“ Hitzeperiode zu Pfingsten 2014 (zum Teil bis über 40 Grad Celsius in den Tallagen (500 bis 600 m Höhenlage) von Rhone (Kanton Wallis) und Rheintal bei Chur (Kanton Graubünden), sowie der späte Beginn der Schneefallperiode (es gab „grüne“ Weihnachten bis etwa 1100 m Höhe). Auf der südalpiner Seite wurden dagegen Anfang Februar 2015 außergewöhnlich hohe Neuschneemengen registriert. So war Oberitalien, der Kanton Tessin, das Simplongebiet (Kanton Wallis), das Val Formazza (nördlich von Domodossola, Piemont), ähnlich betroffen wie im Lawinenwinter 1950/1951), Analoges wurde in Slowenien beobachtet. (Quellen: SLF, Davos: [www.slf.ch](http://www.slf.ch) und Zeitungsberichte im Schwei-

zer Tagesanzeiger [www.tagesanzeiger.ch](http://www.tagesanzeiger.ch) und Wetterberichten bei [www.wetteronline.de](http://www.wetteronline.de)). Meteorologisch besteht ein Zusammenhang mit der Zugbahn eines markanten Tiefdruckgebietes (besonders niedriger barometrischer Druck unter 940hPa), das von Genua bis Triest zog und zugleich hohe Luftfeuchtigkeit aus dem noch relativ warmen Oberflächenwasser des Mittelmeeres (quasi wie ein Schwamm) in sich aufsaugte und zu den hohen Niederschlägen führte. (Genua-Tief und sogenannte Fünf-B-Wetterlage). Während dieser Wetterlage, kombiniert mit dem Wolken-Stau an den Südalpen wurden zwischen Ende Januar 2015 und 21. Februar 2015 in der Schweiz sehr hohe Neuschneemengen registriert, die zu spontanen Lawinenabgängen führen kann (Lawinen-Gefahrenstufe 4). Allein auf Schweizer Staatsgebiet sind seit Jahresbeginn bereits 24 Todesfälle zu beklagen durch Lawinenabgänge bei diesen sehr hohen gemessenen Neuschneemengen. (Quelle: NZZ am 22.02.2015). Kurz vor Ostern (1. April 2015; [www.slf.ch](http://www.slf.ch)) sowie am 29. und 30. April gab es nochmals viel Neuschnee, was innerhalb weniger Stunden zu einem sprunghaften Anstieg der Lawinengefahr von mässig (Stufe 2) auf erheblich (Stufe 3) führte. Am 1. Mai 2015 stieg die Lawinengefahr im **Chablais**/Unterwallis, sowie westlich und nördlich von **Sion** (Sitten, VS) sogar auf Stufe 4 (gross). Vor 16 Jahren löste am 23. Februar 1999 eine ähnliche Wetterlage eine große Lawine durch Galtür im Paznauntal (Tirol) aus, die Hotels zerstörte und 31 Menschenleben forderte ([www.nzz.ch](http://www.nzz.ch)). Am 28.12.1999 wurden nahe der oberhalb der Waldgrenze gelegenen Jamtalhütte (2165 m) neun Skitourengeher durch eine Lawine getötet. ([www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de))

### Die wissenschaftliche Erforschung des beschleunigten Auftauens des Permafrostes

**Permafrost** ist derjenige unterirdische Bereich, der ganzjährig permanent gefroren ist.

In dieser Abhandlung beschränke ich mich auf den Permafrost in alpinen Gebirgen. Der Permafrost ist im alpinen Raum bereits ab etwa 2500 – 2700 m Höhe anzutreffen. Der Permafrost in den beiden polaren Regionen von Arktis und Antarktis bleibt an dieser Stelle unberücksichtigt, obwohl dieser einen erheblichen Einfluss auf den zu erwartenden Meeresspiegelanstieg haben wird. Hierzu habe ich zu wenig Detailkenntnisse.

Im Gegensatz zum Gletscherschwund, der heute mit *Satelliten* ([www.glims.org](http://www.glims.org)) beobachtet werden kann, ist dies beim Permafrost nicht möglich, da dieser in der Tiefe (bis zu mehreren Metern) unter dem Erdboden anzutreffen ist. Erst seit den 1980er Jahren wird der Permafrost wissenschaftlich untersucht. Die Grenze von unterirdischem Permafrost lässt sich **geophysikalisch** feststellen durch Temperaturmessungen mit Thermistoren nach Bohrungen in die Tiefe (lokal begrenzt) oder mit geoelektrischen Strommessungen, denn Wasser hat eine deutlich höhere (etwa doppelt so große) elektrische Leitfähigkeit als das Eis im Permafrostbereich. Werden mehrere geophysikalische Strommessungen durchgeführt, kann ein größerer Volumenbereich des Permafrostes dreidimensional erfasst werden. (Geo Zentrum Hannover und Geografie Uni Zürich, es handelt sich um die sogenannte Geo-Tomografie). Taut der Permafrost an der Oberfläche auf, kann die Felsstabilität beeinträchtigt werden. In der Folge kann es vermehrt zu Felsabbrüchen und heftigem Steinschlag kommen. Bei Starkregen können ganze Berghänge abrutschen und zu verheerenden Muren führen. Klar ist, daß das alpine Abschmelzen von Gletschern und Firnfeldern gleichzeitig die Felsen weniger als vorher abstützt und zur Destabilisierung beiträgt. Erhöhte Niederschläge können vermehrt zu Erdbeben unterhalb der „aufsteigenden“ Permafrostgrenze führen. Denn die Permafrostgrenze

zieht sich in höhere Bergregionen oberhalb etwa 2800 m zurück, insbesondere in Süd- und Südwest exponierten von Felsen durchsetzten Bergflanken, sogenannten Schrofen. Vier Forschungsstationen seien an dieser Stelle erwähnt, nämlich das Schilthorn (2970m) im Berner Oberland, das Kitzsteinhorn (3203m) in den Hohen Tauern (Bundesland Salzburg), der Gemsstock (2961m) bei Andermatt im Kanton Uri ([www.permos.ch](http://www.permos.ch)) sowie die Zugspitze (2962m). Das Experiment mit Temperaturfühlern an der Zugspitze wurde von der Technischen Universität München im Tunnelstollen zwischen Bayern und Tirol durchgeführt. An heißen Sommertagen kommt es häufig dazu, daß die Boden-Temperatur selbst in den Gipfelregionen über dem Gefrierpunkt liegt. Im Sommer 2003 war die atmosphärische Nullgradgrenze wochenlang sogar deutlich über 4000 m anzutreffen. Die messbare Reaktion, d.h. das Auftauen und Wiedereinfrieren des oberflächennahen Permafrostbodens hinkt erfahrungsgemäß etwa ein halbes Jahr der Lufttemperatur hinterher. (Quelle: [www.permos.ch](http://www.permos.ch)).

Ehemalige durch den Dauerfrost stabilisierte Gebiete werden nun dem Wechsel von gefrierendem und wieder auftauendem Eis ausgesetzt, was den Fels spalten, brechen und in kleine Splitter zerreiben kann. Häufig trägt der Gletscher diesen Schutt an seiner Oberfläche mit sich talabwärts. Dabei ist die Fließgeschwindigkeit geländeabhängig und beträgt in den Alpen im Durchschnitt etwa 50 bis 75 m im Jahr. Schließlich bleiben End- und Seiten-Moränen oder bei Blockgletschern Gesteinsschuttfelder übrig. Wegen des Auftauens des Permafrostes z.B. an der Bliggspitze in den Ötztaler Alpen droht seit 2007 die Gefahr eines großen Bergrutsches an ihrer Westflanke, der in den nahegelegenen Gepatsch-Stausee im Kaunertal (Tirol) gelangen und eventuell eine hohe Flutwelle auslösen könnte. Dies war nämlich der Fall

bei dem Katastrophenereignis am 9. Oktober 1963 in Longarone im Piavetal unterhalb des Vajont-Stausees (Provinz Belluno, Venetien) mit über 3000 Todesopfern. Die 261m hohe Bogen-Staumauer aus Beton selbst hielt damals der Wasserwelle (Tsunami) stand, nachdem rund 250 Millionen Kubikmeter Fels bei einem Bergrutsch vom Monte Toc in den gefüllten Stausee stürzten. Fast die gesamte Stadt Longarone wurde hierdurch zerstört. Seit diesem folgenschweren Ereignis wurde der Stausee nicht mehr gefüllt und damit für die regenerative Energie-wirtschaft unbrauchbar. (Quelle: www.wiki-pedia.de ).

### Die Trinkwasserversorgung voralpiner Balzräume:

Zur **Trinkwasserversorgung** bleibt anzumerken, daß **Stuttgart** über große Pipelines das Wasser vom Bodensee und vom Donauried übergeleitet bekommt, während **München** das Trinkwasser aus dem Mangfalltal, der Schotterebene (Obere Süßwassermolasse) und dem Loisachtal entnimmt. (Quelle: www.swm.de ). Der Ismaninger Speichersee dient dabei der natürlichen Klärung der Abwässer. **Wien** erhält sein Trinkwasser über Hochquellenleitungen aus dem Gebiet des Schneebergs und des Hochschwabs (Steiermark). Berühmt geworden ist auch der antike römische Aquädukt *Pont du Gard*, der die Stadt **Nîmes** in der Provence mit Trinkwasser versorgte. Dieser 49m hohe Aquädukt über den Fluss Gardon wurde vom 1. bis zum 9. Jahrhundert genutzt.

**Internet-Adressen** mit aktuellen Informationen zum Thema Gletscherschwund und Permafrost:

www.geo.uzh.ch, www.permos.ch, www.scnat.ch., www.geographie.uni-bonn.de, www.uibk.ac.at, www.uni-salzburg.at, www.unibas.ch, www.alpenverein.at/portal, www.gletscherarchiv.de, www.slf.ch, www.saevert.de, www.wetteronline.de, http://bazonline.ch, www.swisseduc.ch, www.sac-cas.ch, www.alpenverein.at, www.ethz.ch, www.srf.ch, http://studien.uni-graz.at, www.bgr.bund.de, www.raonline.ch, www.glims.org, www.the-cryosphere.net, www.ipcc.ch, www.climate-change.ch und www.unifr.ch

### Literaturverzeichnis:

- RAHNSTORF, STEFAN und SCHELLNHUBER, HANS-  
JOACHIM (2006), Der Klimawandel, C.H. Beck Verlag, München 2006.
- NAUSER, MARKUS und FITZE, URS (2003) Bedrohliches Tauwetter in den Alpen, DIE ALPEN, Schweizer Alpenclub Bern, Oktober 2003.
- HÜSLER, EGON (2011) Die ALPEN, *Faszination Erde*, Wolfgang Kunth Verlag, München 2011.
- ZÄNGL, WOLFGANG und HAMBERGER, SYLVIA (2004) Gletscher im Treibhaus, Eine fotografische Zeitreise in die alpine Eiswelt, Tecklenborg Verlag, Steinfurt 2004.
- HAEBERLI, WILFRIED, HUGGEL, CHRISTIAN und PAUL, FRANK (2005) Gletscherschwund im Hochgebirge, Alpenvereins-Jahrbuch Berg 2005 Band 129, Deutscher Alpenverein, München 2005.

Anschrift des Verfassers

**Dr. Ansgar Präg**

Atzelsberger Str. 44  
91080 Marloffstein

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Natur und Mensch - Jahresmitteilungen der naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg e.V.](#)

Jahr/Year: 2014

Band/Volume: [2014](#)

Autor(en)/Author(s): Präg Ansgar

Artikel/Article: [Die Folgen des Klimawandels im alpinen Gebirgsraum für den Wasserkreislauf der voralpinen Ballungsräume 111-122](#)