

Amt für Wald Graubünden

Gletscher und Klimawandel in Graubünden



www.wald.gr.ch



Amt für Wald Graubünden
Uffizi forestal dal Grischun
Ufficio forestale dei Grigioni

Faktenblatt 14

Erste Ausgabe

Januar 2009



Allgemeines über Gletscher

Der Schmuck der Schweizer Berge

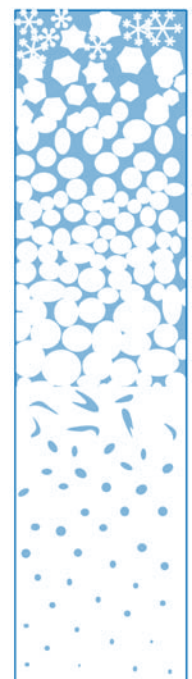
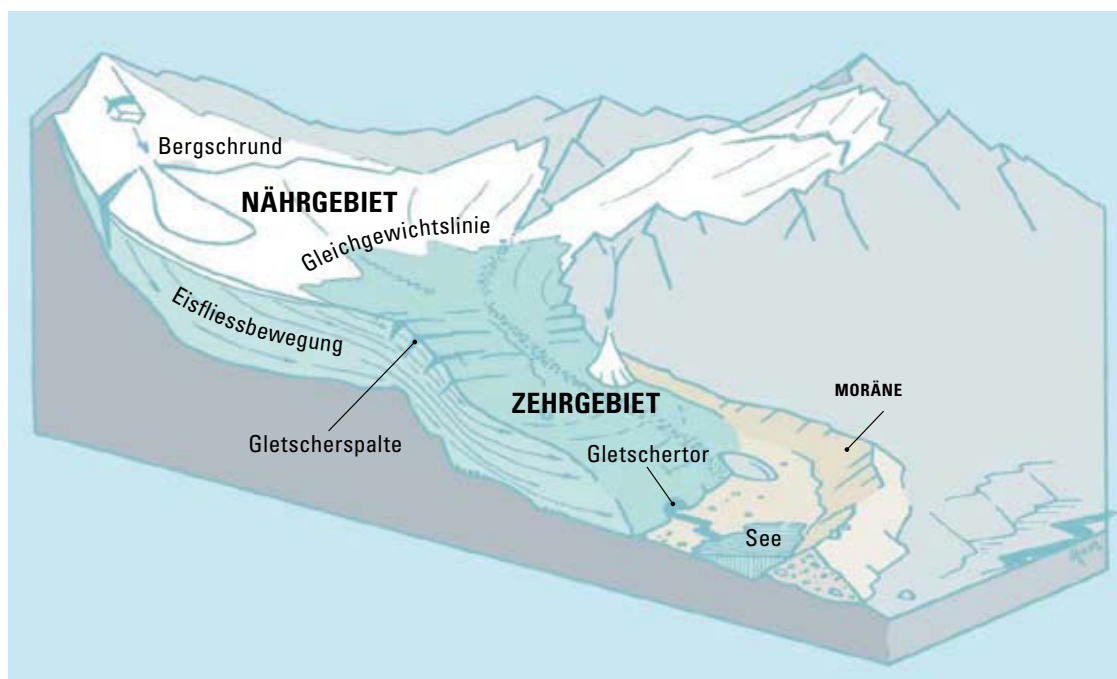
Die mächtigsten Ströme der Alpen bestehen aus Firn und Eis und sie erreichen nicht einmal das Tempo einer Schnecke. Dennoch gehören Gletscher zu den eindrucksvollsten und wirksamsten Kräften der Natur, was sich in der gewaltigen Umgestaltung der Landschaft zeigt. Der Schweizer Naturforscher Louis Agassiz nannte sie deswegen auch ehrfürchtig »die grosse Pflugschar Gottes“. Ein Grossteil der Landschaftsformen - tief eingeschnittene Täler, fruchtbare Ebenen, grosse Seen und Flüsse - sind das Erbe der ehemaligen Eisströme. Heute prägen und schmücken die Gletscher in den Alpen das Landschaftsbild der Hochgebirgsregionen wie in Pontresina oder in Zermatt. Gletscher sind zudem die Speicherkammer im Wasserkreislauf. In inneralpinen Trockengebieten wie dem Wallis oder dem Vinschgau wird das

Am Anfang war die Schneeflocke

Gletschereis entsteht durch die Umwandlung von Schnee, der im Nährgebiet den Sommer überdauert. Unter dem Gewicht der Neuschneesichten verdichtet sich der poröse, körnige Firn zu kristallinem, dichtem Gletschereis. Dieser Prozess dauert bei temperierten Gletschern, deren Eistemperatur um den Gefrierpunkt schwankt, wenige Jahre bis Jahrzehnte; bei kalten, am Bett angefrorenen Gletschern dagegen mehrere Jahrzehnte bis Jahrhunderte. Das Eis verformt sich unter seinem eigenen Gewicht und fließt wie eine sehr zähe Flüssigkeit talwärts.

Und sie bewegen sich doch

Im Jahr 1773 bewies ein 15-jähriger Hirtenknabe das Vortossen des Oberen Grindelwaldgletschers, indem er die



Im Sommer ist ein Gletscher im oberen Teil durch eine geschlossene Schnee- oder Firnoberfläche und im unteren Teil durch eine ausgeaperte Eisoberfläche charakterisiert. Die Gleichgewichtslinie trennt das Nährgebiet (Akkumulationszone), in welcher der jährliche Schneefall das Schmelzen überwiegt vom Zehrgebiet (Ablationszone), wo der ständige Verlust durch Abschmelzen im Laufe des Jahres grösser ist als die Niederschlagsmenge. Der Bergschrund ist die oberste Gletscherspalte im Nährgebiet und trennt den am Fels angefrorenen Teil des Firn und Eises vom fließenden Gletschereis. In den Sommermonaten fließt Schmelzwasser oberflächlich ab und sammelt sich in Gletschermühlen (Strudellöcher), durch die es an die Gletscherbasis abfließt und beim Gletschertor wieder ins Freie tritt. Im Gletschervorfeld kann es zur Bildung eines Sees kommen; Grafik G. Kappenberger

Umwandlung von Schneekristallen über Firn zu Eis: aus Neuschnee zu wach an der Oberfläche entsteht mit der Zeit kompaktes Gletschereis

kostbare Schmelzwasser seit Jahrhunderten zur Bewässerung auf die Felder abgeleitet; in neuerer Zeit wird es in vielen Gletschergebieten auch zum Erzeugen von Energie in den Stauseen der Wasserkraftwerke gesammelt, wie etwa beim Vadrec d'Albigna im Bergell. Schon vor 100 Jahren florierte der Gletschertourismus in alpinen Orten wie Grindelwald und den Engadiner Kurorten, wo die Eisströme zu jener Zeit leicht zugänglich waren. Neueren Datums ist die touristische Nutzung der Gletscher als Sommerskigebiete.

Weglänge zwischen dem Zungenende und einem auffälligen Felsblock mit Steinen markierte und diese einen nach dem anderen unter dem Eis verschwinden sah. Seine Beobachtungen wurden bei weitem nicht von allen Fachleuten richtig eingeschätzt. Doch die Zeit sollte dem Hirtenjungen Recht geben. 1854 setzte sich die bereits früher vom Alpinisten und Naturforscher Horace Bénédict de Saussure erwähnte Gravitationstheorie durch und die Schwerkraft wurde als eigentlicher Motor der Gletscherbewegung erkannt.

Bei der Bewegung unterscheidet man zwischen viskosem Fließen als Folge der Deformation der Eiskristalle und Gleiten am Gletscherbett. Im Sommerhalbjahr fließt bei temperierten Gletschern Schmelzwasser an der Sohle des Eises und vermindert daher die Reibung – der Gletscher wird hydraulisch angehoben und dadurch beschleunigt.

Die Geschwindigkeit eines Alpengletschers beträgt 20 – 200 Meter pro Jahr und hängt im Wesentlichen von der Eismächtigkeit und der Neigung ab: Je mächtiger und steiler ein Gletscher, desto schneller fließt er. Weil das zuoberst im Nährgebiet entstandene Eis im Lauf der Zeit in immer grössere Tiefe absinkt, wo es wesentlich langsamer vorankommt als an der Oberfläche, kann die Reise eines Eiskorns bis zum Gletscherende mehrere 1'000 Jahre dauern!

Da sich das Eis wegen seiner Trägheit nicht so rasch verändern kann, wird es vor Hindernissen gestaucht, dahinter aber gestreckt. Überschreiten die dabei auftretenden Dehnungskräfte die Festigkeit des Eises, brechen Spalten senkrecht zur Zugbeanspruchung auf. Da das fließende Eis seine größte Geschwindigkeit in Längsrichtung erreicht, sind Querspalten am häufigsten. Was den Gletscherspalten zum Opfer fällt, bleibt nicht ewig in den Eingeweiden des weissen Panzers gefangen, sondern kommt durch die Fließbewegung nach Jahrzehnten oder Jahrhunderten im Zehrgebiet wieder ans Tageslicht. Ganz nach einem alten isländischen Sprichwort: Was der Gletscher nimmt, gibt er wieder zurück.

Eis in Form

Auch wenn die heutigen Gletscher nur bescheidene Überreste der einstigen Eisströme darstellen, bedecken die rund 1'000 Gletscher der Schweiz doch 983 Quadratkilometer, die 444 Gletscher Graubündens nur 183 Quadratkilometer, was 2.5 Prozent der Kantonsfläche entspricht. Talgletscher wie der Vadret da Morteratsch sind grosse Gletscher, die mit einem Teil ihres Nährgebiets und dem gesamten Zehrgebiet im Talgrund liegen und eine charakteristische Zungenform ausbilden. Kleinere Eismassen wie der Silvrettagletscher bezeichnet man als Gebirgsgletscher. Weiter gibt es vor allem durch Lawinenschnee gespeiste Kargletscher wie der Vadret da Lischana und Hängegletscher wie an der Nordostwand des Piz Roseg.

Wussten Sie, dass..

- es im Kanton Graubünden noch fünf Gletscher gibt, die grösser als fünf Quadratkilometer sind und deren Gesamtfläche rund die Hälfte des Grossen Aletschgletschers ausmachen?
- in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in der Schweiz das Gletschereis wirtschaftlich für Kühlzwecke abgebaut und bis nach Paris befördert wurde?
- der Vadret da Morteratsch im Grössen-Ranking der Schweizer Gletscher nur an 14. Stelle liegt?



Vadret da Morteratsch (Talglacier); Foto M. Phillips



Silvrettagletscher (Gebirgsgletscher); Foto A. Bauder



Vadret da Lischana (Kargletscher); Foto G. C. Feuerstein



Hängegletscher Roseg; Foto C. Rothenbühler

Gletschergeschichte

Eiszeit statt Sintflut

Noch vor nicht allzu langer Zeit wurde die bloße Existenz der Eismassen, geschweige denn ihre Wirkung, stark angezweifelt. Die Spuren der einstigen Eisströme, von Moränen bis zu Findlingen, schrieb man dem Einwirken des Wassers zu, und einmal mehr musste die Sintflut als Erklärung dafür herhalten. Erst die Eiszeittheorie verhalf in der Mitte des 19. Jahrhunderts einer neuen Denkweise zum Durchbruch, und man erkannte, dass sich vor ungefähr 20'000 Jahren zusammenhängende Eisdecken über halb Nordamerika und Europa erstreckt hatten. Die Gestaltung des Oberengadiner Hochtals ist eines der schönsten Werke der eiszeitlichen Vergletscherung. Als Vermächtnis hat hier der eiszeitliche Inngletscher der Nachwelt die Oberengadiner Seenflucht hinterlassen. Die Seen von Sils, Silvaplana und St. Moritz verdanken ihre Existenz den Toteismassen, die der schwindende Inngletscher zurückgelassen hat.



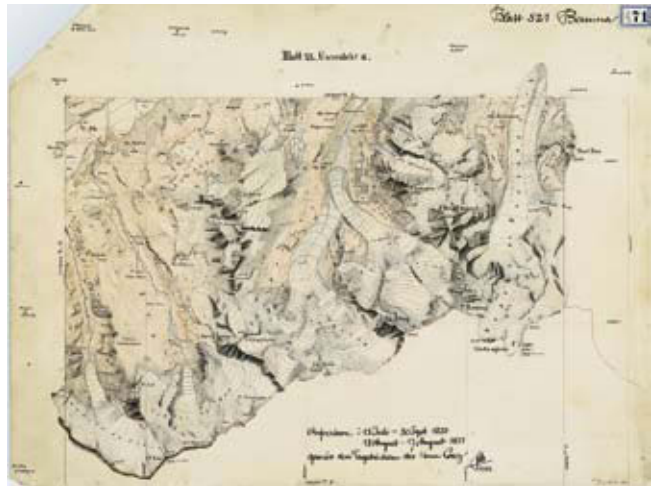
Gletschermühle in Cavaglia, entstanden am Untergrund eines Gletschers durch abfließendes Schmelzwasser; Foto M. Phillips

Gletschermühlen in Maloja und Poschiavo

Am Ende der letzten Eiszeit vor rund 10'000 Jahren waren der Vadret da Morteratsch und der Vadret da Roseg noch an der Stelle vereint, wo heute Pontresina liegt. Der Vadret del Forno im Bergell erreichte den Malojapass, wo er eine weite Rundhöckerlandschaft mit Gletscherschliffen, geschrammten Felsen und Moränen hinterliess. Relikte dieser eiszeitlichen Ausdehnung sind zahlreiche Gletschertöpfe, die 1884 beim Bau des Hotels Belvedere entdeckt wurden. Diese grösste Ansammlung von Gletschermühlen Europas befindet sich in der Nähe des Turmes Belvedere, der grösste Topf ist gewaltige elf Meter tief und hat einen Durchmesser von sieben Metern. Weitaus weniger bekannt sind die Gletschermühlen von Cavaglia im Val Poschiavo. Bisher wurden sieben Gletschermühlen gefunden und freigelegt, weitere sind noch von Moränen, Föhren und Kiefern bedeckt. Sie sind bis zehn Meter tief, ihr Durchmesser wird mit fünf Metern angegeben. Weitere Mühlen sollen voraussichtlich noch freigelegt werden.

Der Schlüssel zur Vergangenheit

Das Klima der Erde ist natürlichen Schwankungen unterworfen. Gletscher reagieren sehr sensibel auf diese Veränderungen und sind somit Zeugen längst vergangener Klimaperioden. Die Spuren, die sie im Gelände hinterlassen haben, helfen frühere Gletscherstände zu vergegenwärtigen. Daraus kann indirekt auf das Klima der damaligen Zeit geschlossen werden. Mit verschiedenen Forschungsmethoden konnten Glaziologen die Schwankungen der Alpengletscher seit der letzten Eiszeit vor 10'000 Jahren teilweise rekonstruieren. Dabei werden historische Bild- und Schriftquellen, kartografische Zeugnisse und Reliefs ausgewertet (historische Methode, vgl. Messtischblatt Coaz), Moränenwälle kartiert sowie fossile Böden und Hölzer datiert (glazialmorphologische Methode). Auch anthropogene Hinterlassenschaften wie Mauerreste von Häusern oder Wegspuren können in Verbindung mit ehemaligen Gletscherständen gebracht werden (geländearchäologische Methode).



Messtischblatt der Aufnahmen im Berninagebiet von J. Coaz 1850/51 als Grundlage für die topographische Karte Blatt 521 des Siegfried-Atlas (Archiv Swisstopo)



Mit der Dendrochronologie an alten Baumstämmen können eisfreie Zeiten nachgewiesen werden; Foto Diathek Schlüchter, 2006

Eisfreies Graubünden?

In den vergangenen 10'000 Jahren haben sich die Alpengletscher zurückgezogen, sind aber immer wieder auch vorgestossen. In der Kleinen Eiszeit zwischen 1300 und 1850 erreichten sie ihre grösste Ausdehnung. Neuste glazi-almorphologische Untersuchungen der Universität Bern in verschiedenen Gletschergebieten der Schweiz weisen darauf hin, dass die Gletscher in den letzten 10'000 Jahren über 50 Prozent der Zeitspanne kürzer waren als heute, wie etwa zur Römerzeit vor rund 2000 Jahren. Holz- und Torffunde, die unter dem Eisrand und im Vorfeld der heutigen Gletscher zu Tage gebracht werden, verdeutlichen, dass in früheren Zeiten anstelle der Geröllwüsten und des Eises Bäume und Moorpflanzen wachsen konnten und sich die Gletscher hinter diese Stelle zurückgezogen haben müssen. Zudem muss die Waldgrenze damals um einiges höher gelegen haben als heute. Am Zungenende des Vadret da Tschierva und Vadrec del Forno im Bündnerland wurden solche Holz- und Torfstücke gefunden. Sie sind über 5'000 Jahre alt und zeigen eine sehr gute zeitliche Übereinstimmung mit den Rückzugsperioden der Gletscher in den anderen Landesteilen der Schweiz.

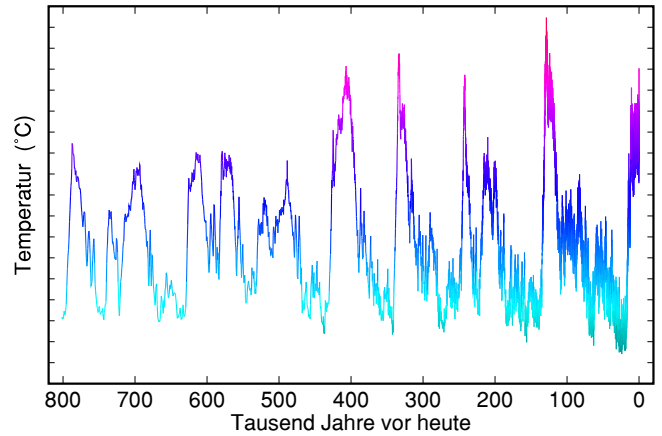


Das Hochtal mit der charakteristischen Seenlandschaft im Oberengadin wurde durch den Innngletscher während den Eiszeiten geformt; Foto B. Allgöwer

Perioden mit Gletscherschwund in den letzten 10'000 Jahren

Warmzeitfenster	Zeit vor heute [Jahre]	Dauer Periode
1	1450-1150	300 Jahre
2	2300-1800	500 Jahre
3	um 2700	100 Jahre
4	5200-3400	1800 Jahre
5	5700-5500	200 Jahre
6	6150-6000	150 Jahre
7	7350-6500	850 Jahre
8	7700-7500	200 Jahre
9	9000-8050	950 Jahre
10	9900-9550	350 Jahre
	Total	5400 Jahre

(Quelle: Alpen 6 / 2004, Ch. Schlüchter)



Klimaschwankungen und Eiszeiten: der aus Eisbohrkernen rekonstruierte Verlauf der Temperatur in Grad Celsius zeigt die Abfolge von Kalt- und Warmzeiten

Wussten Sie, dass..

- in der letzten Eiszeit nicht nur der Alpenraum, sondern auch die Umgebungen von Salzburg, Zürich und Grenoble unter dem Eis lagen?
- die Alpengletscher schon kürzer waren als heute, wohl aber ausschliesslich infolge natürlicher und nicht anthropogen verursachten Klimaschwankungen?
- die Sommer-Mitteltemperaturen am Ende der letzten Eiszeit 1.5 bis 2.5 Grad Celsius tiefer lagen als heute?
- 1884 beim Bau des Hotels Belvedere auf dem Malojapass die grösste Ansammlung von Gletschermühlen Europas entdeckt wurde?

Gletscher und Klima

Spiegel des Klimas

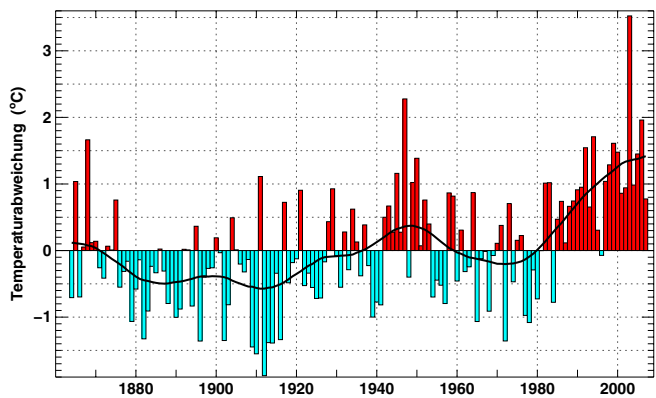
Gletscher reagieren auf klimatische Änderungen mit einer Massenänderung. Entscheidend dafür sind die festen Niederschlagsmengen und die Sommertemperaturen. Ausschlaggebend für ein Plus oder ein Minus in der Bilanz sind vor allem die Sommertemperaturen. Denn selbst hohe Niederschlagsmengen im Winter können einen anschließenden sehr heissen Sommer meist nicht ausgleichen, wie das im Jahrhundertssommer 2003 etwa der Fall war. Miteentscheidend sind auch die Verhältnisse im Frühjahr während der Ausaperung: Neuschneefälle vermögen viel Strahlung zu reflektieren und schützen dadurch die darunter liegenden Firn- und Eisschichten. Mit dem Anstieg der Schneegrenze in den Alpen bleibt diese «Bremse» für den Schmelzprozess jedoch immer häufiger aus. Mit dem Abschmelzen des Firnschnees während fröhsommerlichen Hitzeperioden verliert der Gletscher einen grossen Teil seiner Fähigkeit, Schmelzwasser zu speichern und dadurch den Abfluss im Sommer in Grenzen zu halten. Für eine positive Massenentwicklung sind demzufolge neben einer Folge von schneereichen Wintern auch kalte, niederschlagsreiche Sommer notwendig. Da sich die Niederschlagsmengen in den Alpen nicht wesentlich verändert haben, ist der enorme Gletscherschwund der letzten beiden Jahrzehnte hauptsächlich auf die erhöhten Sommertemperaturen zurückzuführen.

Gewinn und Verlust

Die Summe von Eiszuwachs im Nährgebiet und Eisschmelze im Zehrgebiet ergibt die jährliche Massenbilanz eines Gletschers. Die Lage der Gleichgewichtsgrenze ist abhängig von den jährlichen klimatischen Verhältnissen. Liegt sie höher, überwiegt die Schmelze, liegt sie tiefer dominiert der Zuwachs. Ein Gletschervorstoss oder ein Gletscherrückzug tritt aber erst verzögert auf eine Massenänderung ein. Mitbestimmend dafür ist die maximale Eismächtigkeit, also die GröÙe des Gletschers; so sind klimatische Veränderungen an einem kleinen Gebirgsgletscher, wie dem Silvrettagletscher in einigen Jahren, an einem grossen Talgletscher, wie dem Vadret da Morteratsch dagegen erst in einigen Jahrzehnten abzulesen.

Im ständigen Wandel

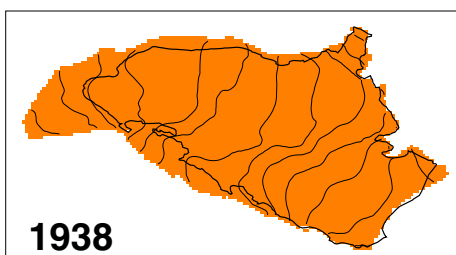
Das milde Klima im Mittelalter führte zu einem markanten Tiefstand der Alpengletscher. In der Neuzeit kam es während deutlich kälterer Perioden zu beachtlichen Eisvorstössen wie etwa um die Jahre 1600 und 1850. Mit dem Temperaturanstieg seit dem Beginn der Industrialisierung ist die Schneegrenze um 100 Meter angestiegen und die Alpengletscher haben beinahe 40 Prozent ihrer Fläche und einen grossen Teil ihres Volumens eingebüsst, was an den mächtigen Moränenwällen im Gelände gut zu erkennen ist. So ist der grösste Eisstrom Graubündens, der Vadret da Morteratsch, seit 1880 über 2 Kilometer zurückgewichen. Um 1920 und 1980 verzeichneten viele Gletscher einen zwischenzeitlichen Vorstoss – 1967 bis 87 rückte der Vadret da Tschierva rund 250 Meter vor – ihre einstige Ausdehnung von 1850 erreichten sie jedoch bei weitem nicht mehr. Besonders seit der Mitte der achtziger Jahre bieten die Alpen den Gletschern alles andere als eine kühle Heimat und ein massiver Eisverlust wird seither beobachtet.



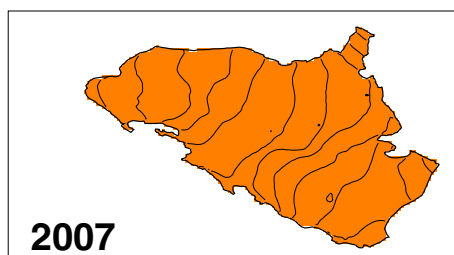
Abweichung der mittleren Sommer-Temperaturen (Mai-September) vom langjährigen Mittelwert (1961-90) seit Beginn der systematischen Messungen in der Schweiz im Jahr 1864 (Quelle: MeteoSchweiz)

Was bringt die Zukunft?

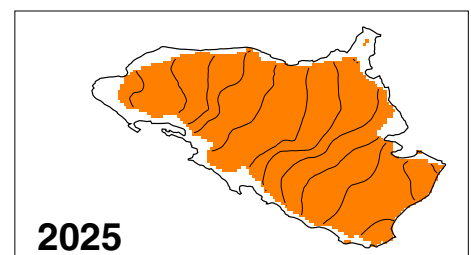
Klimaforscher erwarten eine globale Temperaturzunahme von 0.8 bis 2.4 Grad Celsius bis 2050 und 1.4 bis 5.8 Grad Celsius bis 2100. Neben dieser Erwärmung ist auch mit einem veränderten Niederschlagsregime zu rechnen. Über 90 Prozent der Bündner Gletscher sind kleiner als 1 Quadratkilometer. Infolge der prognostizierten klimatischen Änderungen werden vor allem diese kleinen Gletscher in den nächsten Jahrzehnten abschmelzen. Demgegenüber wer-



1938

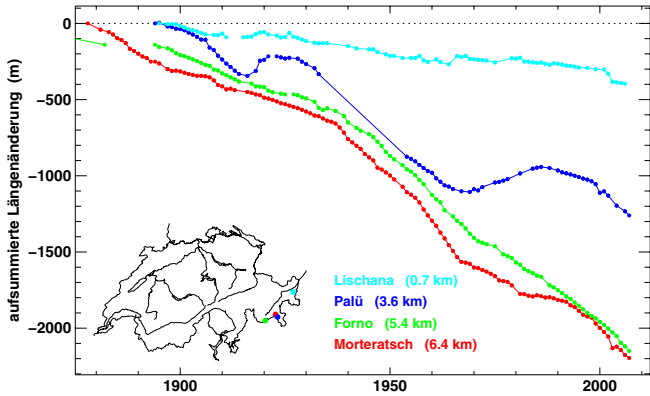


2007

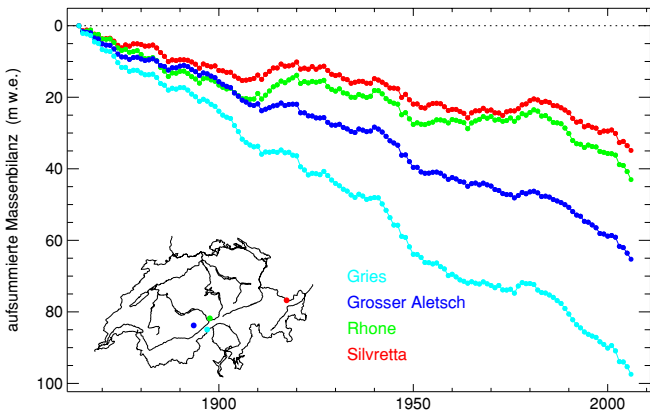


2025

den die 34 Bündner Gletscher mit einer Fläche grösser als 1 Quadratkilometer, die gesamthaft noch 56 Prozent der vergletscherten Kantonsfläche ausmachen, mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht so schnell von der Landkarte verschwinden. Denn entscheidend für den Eisverlust ist nicht die Fläche, sondern das Volumen, das bei grossen Gletschern überproportional ist.



Vier Bündnergletscher mit unterschiedlichem Anpassungsverhalten der Gletscherzunge. Der mittelgrosse Vadret da Palü verzeichnete Vorstösse um 1890, 1920 und 1980. Die grösseren und trägeren Vadret del Forno und Vadret da Morteratsch reagierten dagegen wenig auf das rauere Klima: Seit 1880 haben sie sich ausschließlich zurückgezogen. Die Zunge des kleinen Vadret da Lischana zeigt aufgrund fehlender Fließdynamik keine ausgeprägte Reaktion auf Klimaeinflüsse.



Obwohl fast alle Alpengletscher in den letzten Jahrzehnten einen starken Massenverlust erlitten haben, hängt dieser doch stark vom lokalen Klima, der Größe, der Höhenlage und der Orientierung des Gletschers ab, wie der Vergleich der Massenbilanzreihen der 4 bestdokumentierten Schweizer Gletscher zeigt.

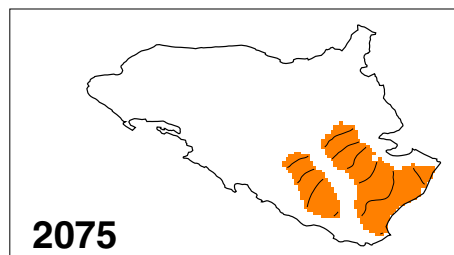
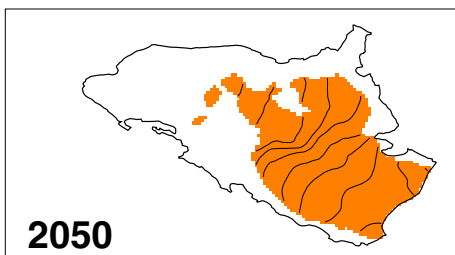
Die grössten Bündnergletscher und ihre Flächen in km² um 1850, 1973 und 2000

Gletscher	1850	1973	2000
Vadret da Morteratsch	19.3	16.4	16.1
Vadret da Roseg	11.1	8.5	7.8
Vadret del Forno	10.3	8.7	6.9
Vadret da Tschierva	7.6	6.2	6.3
Vadret da Palü	8.0	6.5	5.8

(Quelle: HADES)

Wussten Sie, dass..

- es bei einem Temperaturanstieg von 1 Grad Celsius 300 bis 400 Millimeter mehr Niederschlag braucht, damit die Lage der Gleichgewichtsgrenze eines Gletschers unverändert bleibt?
- das Eisvolumen der Schweiz kleiner ist als das Volumen des Genfersees?
- der Vadret da Tschierva und der Vadret da Roseg 1934 noch vereint waren?
- der Rückgang der Gletscher in Graubünden besonders augenfällig wird, da viele kleine Gletscher in den nächsten Jahrzehnten verschwinden?



Entwicklung des Silvrettagletschers in der Vergangenheit und Zukunft, die momentane Ausdehnung als Vergleich durch die Umrisslinie ist für jeden Zeitpunkt wiedergegeben.

Auswirkungen der Klimaänderung auf die Gletscher

Eiskalte Gefahren

Wesentliche Impulse erhielt die Gletscherforschung durch die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit den vielfältigen Gefahren, die den Menschen vom Gletscher drohen. Eisstürze, Wasserausbrüche und Gletscherschwankungen sind eng miteinander verknüpft. So kann eine an sich ungefährliche Längenänderung eine Eislawine zur Folge haben oder ein Gletscherhochwasser auslösen. Wenn sich Wasser im Gletscher staut (eine sogenannte Wassertasche) und ausbricht, kann dies einen Murgang verursachen, wie es etwa im Sommer 2006 beim Vadret da l'Alp Ota im Val Roseg geschehen ist. Gletscherhochwasser können ausserdem durch starke Regenfälle begünstigt werden, wie etwa 1927 beim Ausbruch einer Wassertasche beim Vadret d'Albigna im Bergell.

Heisse Sommer – gefährliche Gletscher?

Mit der grossen Eisschmelze können im Vorfeld der Gletscher Seen entstehen, die entweder durch eine Moräne oder seitlich vom Eis gestaut werden. Seit den 1940er Jahren hat sich im Vorfeld des Vadret da Roseg ein See, der Lej da Vadret, gebildet, der sich bis heute stark vergrössert hat. 1954 hat sich der See durch die Schneeschmelze und starke Niederschläge aufgestaut. Der darauffolgende Seeausbruch hat ein Schadenshochwasser in Samedan verursacht.

Durch das Einsinken der Eismassen ändern sich die Druckverhältnisse von freigelegten Felswänden. Durch den fehlenden Eisdruck auf die Talflanken kann es zu Instabilitäten wie Steinschlag, Hangrutschungen oder Murgängen kommen. Aber auch vorstossende Gletscher bergen ihre Tücken: In der Vergangenheit hatten sie oftmals Kulturland oder Einrichtungen zerstört. In Zeiten des Gletscherhochstandes stauten vordringende Gletscher mitunter Flüsse auf und verursachten dadurch verheerende Hochwasser.

Inventar gefährlicher Gletscher

Grosse Eislawinen und Gletscherhochwasser sind zwar sehr selten, sie können sich aber in auffallend gleicher Weise wiederholen, da Gletscher dazu neigen, nach Schwankungen ähnliche Positionen einzunehmen. Aus diesem Grund wird an der VAW der ETH Zürich ein Gletschergefahreninventar geführt, um u. a. von schon bekannten auf neue, vergleichbare Situationen schliessen zu können. Das Inventar gefährlicher Gletscher soll helfen Gletschergefahren frühzeitig zu erkennen und das Risiko durch rechtzeitig angeordnete Sicherheitsmassnahmen möglichst klein zu halten. 82 Schweizer Gletscher haben in der Vergangenheit Schäden verursacht oder stellen eine potenzielle Gefährdung dar. Drei dieser Gletscher befinden sich im Kanton Graubünden (Vadret da Tschierva / Roseg / l'Alp Ota). Da sich Gefahrenherde auf Grund der Gletscherschwankungen verlagern, muss das Gefahreninventar regelmässig aktualisiert werden.

Gletscher als Wasserspeicher

Als Wasserspeicher sind Gletscher von wirtschaftlicher Bedeutung. Winterliche Niederschläge werden kurzzeitig in der Schneedecke und längerfristig in Gletschern gespeichert. Gletscher steuern den Abfluss und können die Wirkung von Starkniederschlägen vermindern. Wegen der Eisschmelze werden die Jahresabflüsse in den nächsten Jahrzehnten vorerst zwar zunehmen, danach wird das Abflussvolumen infolge der immer kleiner werdenden Gletscherflächen aber reduziert und die Abflussspitzen werden sich auf den Frühsommer verschieben. Das Abflussregime wird zunehmend vom Niederschlag und der Schneeschmelze dominiert und es kann, vor allem in trockenen und heissen Sommern, lokal zu einem Wassermangel kommen.

Vegetationsentwicklung

In Mitteleuropa können mehrere Arten von Blütenpflanzen und Gräser im Bereich des «ewigen Schnees» leben. Den Höhenrekord hält der Gletscher-Hahnenfuss, der bis auf einer Höhe von 4200 Meter vorkommt. Voraussetzung ist allerdings, dass der Standort während eines Teils des Jahres schneefrei ist.

Gletscherzungen reichen oft tief in die alpine Zone hinab, also dorthin wo die Vegetationsdecke normalerweise ganz geschlossen ist. So überrascht es nicht, dass sich nach dem Abschmelzen von Gletscherzungen recht schnell Pflanzen ansiedeln können. Auf dieser Höhenstufe gibt es bereits ein reiches Spektrum von Pflanzenarten, die rein mineralische



Vegetationsentwicklung im Vorfeld des Vadret da Morteratsch infolge Gletscherrückgang; Foto G. C. Feuerstein



Der Lej da Vadret beim Vadret da Roseg hat sich seit 1940 sukzessive im frei gewordenen Vorfeld gebildet; Foto G. Bott



Der Murgang vom Vadret da l'Alp Ota – nach Ausbruch einer Wassertasche – hat im Sommer 2006 ein Todesopfer auf einem Bergweg gefordert; Foto C. Wilhelm

Böden besiedeln. Voraussetzung ist allerdings, dass zwischen den Steinen auch Feinerde vorhanden ist, wie dies im Moränenmaterial meist auch der Fall ist.

So wurden im Vorfeld des schwindenden Morteratschgletschers bereits im ersten Jahr nach dem Abschmelzen des Eises 6 Arten von Blütenpflanzen beobachtet, darunter mit der Reif-Weide auch der erste Laubbaum. Bis sich die ersten Lärchen erfolgreich angesamt hatten, vergingen allerdings 10 bis 30 Jahre

Trotzdem dauert es mehrere Jahrzehnte, bis die Bodenoberfläche ganz von Vegetation bedeckt ist. Welche Pflanzenarten sich wie schnell ansiedeln hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie etwa dem Sameneintrag aus der Umgebung, der Gesteinsart des Untergrundes sowie der Wasserversorgung und den klimatischen Bedingungen.

Wussten Sie, dass..

- der Vadret da Tschierva bei früheren Vorstößen das Rosegtal abriegelte und Gletscherhochwasser verursachte
- viele Bergunterkünfte, wie etwa die Chamanna da Coaz, Tschierva, Boval oder Forno um ca. 1800 am Gletscherrand gebaut wurden?
- nach heutigen Erkenntnissen 49 Schweizer Gletscher in den nächsten Jahrzehnten Schadenereignisse an Siedlungen oder Verkehrsverbindungen anrichten können und dass dies in Graubünden lediglich einen Gletscher betrifft?

Gletschermessung

Eine Welt zwischen Erstarrung und Aufbruch

Gletscher faszinieren von jeher Bergsteiger und Naturforscher. Lange Zeit zeigten die Bergbewohner und Gelehrten aber nicht nur Bewunderung, sondern auch Respekt vor den wilden, unberechenbaren Eismassen, die immer wieder Mensch und Vieh im Tal bedrohten. Lange Zeit steckte die Gletscherforschung noch in den Kinderschuhen. Erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts setzten Louis Agassiz mit der Eiszeittheorie, Johann Rudolf Mousson mit der Gravitationstheorie und François-Alphonse Forel als Initiator der jährlichen Beobachtungen der Gletscherzungen in der Schweiz wichtige Akzente. Im Kanton Graubünden war in dieser Zeit der Oberforstinspektor Johann Wilhelm Fortunat Coaz (1822–1918) in der Gletscher- und Lawinenkunde tätig. Nach ihm, dem Erstbesteiger des Piz Berninas im Jahr 1850, wurde die 1927 gebaute Chammana da Coaz im Val Roseg benannt. Unter Coaz übernimmt das eidg. Oberforstinspektorat 1893 die Leitung der jährlichen Gletscherbeobach-



Mitarbeiter des Amtes für Wald Graubünden bei den Vermessungsarbeiten an einer Gletscherzunge: mit GPS wird der Verlauf des Eisrandes eingemessen; Foto G. Bott

tungen, welche seither durch die Kantonalen Forstdienste ausgeführt und durch die Gletscherkommission publiziert wurden.



Entzerrte Luftaufnahme (Orthofoto) vom Vorfeld des Vadret del Forno mit einer Auswahl der jährlich vermessen Ausdehnung der Gletscherzunge. Die rote Umrandung entspricht dem Gletscherstand 1852.

Gletscher messen

Die klimabedingten Veränderungen der Gletscher werden in der Schweiz seit 1880 systematisch erfasst. Die Abteilung Glaziologie der VAW der ETH Zürich betreibt das Schweizerische Gletschermessnetz (SGM) mit dem Ziel die Gletscherveränderungen in den Schweizer Alpen langfristig zu erforschen. Aufgrund jährlicher Erhebungen durch den zuständigen kantonalen Forstdienst wird derzeit über die Längenänderung von 120 Gletscherzungen eine Statistik geführt; 22 dieser Gletscher liegen im Kanton Graubünden. Seit mehreren Jahrzehnten ermitteln ETH Glaziologen kontinuierlich die Massenbilanz von 4 Schweizer Gletschern. Langfristige Massenbilanzreihen bilden eine wichtige Grundlage für die Untersuchung der zukünftigen Entwicklung der Gletscher. Mithilfe von Stangen, die ins Eis gebohrt werden, erfassen sie den Eiszuwachs im Nährgebiet und den Eisabtrag im Zehrgebiet und ermitteln daraus die Massenbilanz des Gletschers.

Bei einigen Gletschern, wie etwa dem Rhonegletscher oder dem Aletschgletscher, werden auch die Eismächtigkeit, Volumenänderung und Oberflächenbewegung bestimmt. Neuste Untersuchungen am Silvrettagletscher zeigen, dass der Gletscher seit 1959 14 Prozent seiner Fläche und rund 20 Prozent seines Volumens eingebüsst hat. Die Wasserreserven des verbleibenden Eisvolumens von 154 Millionen Kubikmeter entsprechen etwa dem Wasservolumen des Silsersees.

Wussten Sie dass...

- beim Silvrettagletscher bereits seit 1916 Massenbilanzmessungen durchgeführt werden?
- der Silvrettagletscher heute im Durchschnitt rund 60 Meter dick ist?
- die Wasserreserven des Silvrettagletschers den Wasserverbrauch der Schweizer Bevölkerung während 2 Monaten und denjenigen der Bündner Bevölkerung während 6 Jahren abdecken würde?

Gletscher im Fokus des Amts für Wald Graubünden

125 Jahre Gletschervermessung

Seit 125 Jahren hält der kantonale Forstdienst in Graubünden die jährliche Längenänderung von 22 Gletschern fest. Am Ende der Sommersaison vermessen sie im Gelände den Rückzug oder Vorstoss des Eises und dokumentieren diesen kartografisch und fotografisch. Bei manchen Gletschern ist die Vermessung schwierig geworden, wie etwa beim Vadret da Palü dessen Gletscherzunge sich in eine Steilstufe zurückgezogen hat und eine Vermessung nur noch aus Distanz ermöglicht. Bei anderen Gletschern, wie beispielsweise dem Vadret da Lischana, ist der Gletscherrand durch die zunehmende Schuttbedeckung nicht mehr klar erkennbar.

Umweltmonitoring im Zuge der Klimaerwärmung

Die Förster werden auch mit Naturgefahren wie (Eis-) Lawinen, Steinschlag, Rutschungen und Murgänge konfrontiert. Seit 2002 erfassen Verantwortliche vom Amt für Wald, Tiefbauamt und der Rhätischen Bahn RhB jährlich rund hundert Ereignisse, die u. a. für die Erstellung von Gefahrenkarten sehr nützlich sind. Einige dieser Gefahren stehen direkt oder indirekt im Zusammenhang mit dem Gletscherschwund. So hat eine Hitzeperiode am 11. Juli 2006 beim Vadret da l'Alp Ota im Val Roseg zum partiellen Einbruch von Gletschereis geführt. Das aufgestaute Wasser hat nach seinem Ausbruch viel Geröll und Schuttmassen erodiert. Der gewaltige Murgang hat eine Person auf einem Wanderweg erfasst und tödlich verletzt. Daher werden neu bei der Vermessung von Gletschern auch die Gefahren beurteilt und jährlich dokumentiert. Die Ereigniserfassung wird im Zusammenhang mit der Klimaveränderung zu einem Umweltmonitoring ausgebaut und mit automatischen Messtationen und Informationssystemen ergänzt.

Vom Wissen zum Handeln

Dank der Gefahrenkarten und des Ereigniskatasters ist weitgehend bekannt, wo Siedlungsgebiete und Verkehrswege besonders bedroht sind. Mittels Risikoanalysen scheidet die Gefahrenkommissionen vom Amt für Wald Gefahrenzonen aus, damit Raumplanung und Baugesetze gefahrenbezogen ausgestaltet werden. Weiter werden vom Forstdienst seit Jahrzehnten Schutzwälder gepflegt und ergänzend Schutzbauten erstellt. Trotz grossen Anstrengungen haben die Unwetter aber wiederholt Sachschäden verursacht. Es bleiben Restrisiken, die mit der Klimaänderung noch vermehrt zu Unsicherheiten führen.

Die Einsatzkräfte sind im Ereignisfall besonders gefordert und benötigen Handlungsgrundlagen. Dafür werden neu Interventionskarten mit den entscheidenden Massnahmen bereitgestellt (Verlegung von Sandsäcken, Ableitung von Wasser, Freihaltung von Brücken) um die Auswirkungen im Ereignisfall noch besser bewältigen zu können.

Wussten sie dass..

- die Ereigniserfassung einer Detektivarbeit gleicht und wichtige Hinweise auf Klima- und Umweltveränderungen geben kann?
- der Bündler Forstdienst seit Beginn der systematischen Gletscherbeobachtung aktiv seinen Beitrag in der Gletschervermessung leistet?
- das Amt für Wald ihnen sehr dankbar ist, wenn sie Hinweise zu aufgetretenen Lawinen, Gletscherabbrüchen, Gletscheränderungen, Steinschlägen usw. sofort melden?

Mögliche Ereigniskette mit extremer Gletscherschmelze und Wasserstau (1), Wasserausbruch und starker Erosion (2), Murgangbildung in der Sturzbahn (3) (Fotos C. Wilhelm) und schliesslich Schäden im Siedlungsbereich (4) (Foto F. Dolf).



Bündner Gletscher schmelzen «schneller»

Gletscher sind von ökonomischer Bedeutung, sowohl für die Energiewirtschaft, als auch für die Tourismusbranche in Graubünden. Der anhaltende Gletscherschwund wird mittelfristig zu einem Wassermangel führen und Gebirgsregionen wie das Bündnerland werden weniger attraktiv sein. Besonderes Augenmerk im Gefahrenmanagement des Amtes für Wald Graubünden gilt den Gletschergefahren, die sich mit der Klimaerwärmung nicht unbedingt häufen, aber verlagern können.

Seit über 100 Jahren werden im Kanton Graubünden wie in der übrigen Schweiz die wichtigsten Gletscher vermessen und deren Längen-, Flächen- und Massenänderung statistisch festgehalten. Da über 90 Prozent der Bündner Gletscher kleiner als 1 Quadratkilometer sind, werden in den nächsten Jahrzehnten zahlreiche kleine Gletscher verschwinden. Die grössten Eisströme des Kantons dürften dagegen bis 2100 erhalten bleiben.

Das vorliegende Faktenblatt zum Thema Gletscher und Klimawandel in Graubünden liefert Antworten auf Fragen wie:

- Wie gross ist die aktuelle Vergletscherung in Graubünden?
- Gibt es im Jahr 2100 in Graubünden noch Gletscher?
- Wie viele Gletscher werden in Graubünden vermessen?
- Wo lagen die Zungen der grössten Bündner Gletscher am Ende der kleinen Eiszeit?
- Wie ermittelt man frühe Gletscherschwankungen?
- War Graubünden in der Vergangenheit schon eisfrei?

Die vermessenen Bündnergletscher

Gletscher	Gemeinde	Fläche (km ²)	Länge (km)
Vadret da Morteratsch	Pontresina	15.9	6.4
Vadrec del Forno	Stampa	6.8	5.5
Vadret da Roseg	Samedan	7.9	3.8
Vadret da Tschierva	Samedan	6.5	4.2
Vadret da Palü	Poschiavo	5.8	3.6
Silvrettagletscher	Klosters-Serneus	2.9	3.1
Vadrec d'Albigna	Vicosoprano	2.6	3.6
Vadret Tiatscha	Lavin	2.0	1.8
Gletscher dil Vorab	Laax	1.8	1.7
Vadret da Porchabella	Bergün/Bravuogn	1.6	2.0
Vadret dal Cambrena	Poschiavo	1.6	1.8
Paradiesgletscher	Hinterrhein	1.0	2.3
Gletscher da Lavaz	Medel	1.0	1.2
Verstancлагletscher	Klosters-Serneus	0.9	2.0
Läntagletscher	Vals	0.8	2.0
Suretttagletscher	Sufers	0.8	0.7
Vadret Calderas	Bever	0.7	1.4
Vadret da Sesvenna	Scuol	0.5	1.0
Vadret da Lischana	Scuol	0.1	0.4
Vedreit da Camp	Poschiavo	0.3	0.9
Scalettagletscher	Davos	0.3	1.5
Gletscher da Punteglias	Trun	0.8	1.1

Zahlen: Schweizer Gletscherinventar 2000 und Schweizer Gletschermessnetz

Wege und Links zum Eis

Gletscher hautnah erleben:

Gletscherlehrpfad Morteratsch, Pontresina

Gletscherlehrpfad Silvretta, Klosters

Gletscherlehrpfad «Marmite di giganti», Cavaglia, Val Poschiavo

Klimalehrpfad Schafberg, Pontresina

Gletschermühlen, Maloja

Internetadressen:

Amt für Wald Graubünden: www.wald.gr.ch

Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich: www.glaciology.ethz.ch

Schweizer Gletschermessnetz: glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers/

Forum for Climate and Global Change: www.proclim.ch

Quellenangaben und weiterführende Literatur:

- Funk-Salamí, F. 2006: Vor allem die kleinen Gletscher werden verschwinden, Neue Zürcher Zeitung vom 27.12.06
- Maisch, M., Burgs, C.A., Fitze, P., 1999: Lebendiges Gletschervorfeld. Führer und Begleitbuch zum Gletscherlehrpfad Morteratsch. Engadin Press, Samedan
- Maisch, M. et al., 2000: Die Gletscher der Schweizer Alpen. Projekt-Schlussbericht NFP 31. vgf, Hochschulverlag AG an der ETH Zürich
- Raymond M., Wegmann M., Funk M., 2003: Inventar gefährlicher Gletscher in der Schweiz, Mitteilung 182 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich
- Gletscher, Schnee und Eis. Lexikon zu Glaziologie, Schnee- und Lawinenforschung der Schweiz. Verlag Schweizer Lexikon Mengis und Ziehr, 1999
- Schlüchter, Ch., 2004: Eisfreie Alpen? ALPEN 6/2004, Schweizerischer Alpenclub, Bern
- Zängli, W., Hamberger, S., 2003: Gletscher im Treibhaus, Tecklenborg Verlag Nürnberg

Impressum: Amt für Wald Graubünden - Kontaktadressen und weitere Informationen unter: www.wald.gr.ch · 1. Auflage (2'000 Ex.) Januar 2009

Autoren: Dr. Andreas Bauder, Françoise Funk-Salamí; **Fachliche Begleitung:** Amt für Wald Graubünden, G. C. Feuerstein, Dr. Christian Wilhelm, Dr. Ueli Bühler

Titelblatt: Vadret da Morteratsch um 1900 und 2008; Fotos Staatsarchiv Graubünden und G. C. Feuerstein