

## **Einfluss der Klimaveränderung auf die Gletscher im Engadin**

Kein anderes Naturphänomen reagiert so direkt und ausschliesslich auf die Klimaveränderung (Temperatur und Niederschlag) wie die Gletscher. Deshalb sind sie hervorragende natürliche Klimaindikatoren. Seit 1850 befinden sich die Gletscher der Alpen in einer Schwundphase.

Die Massenbilanz eines Gletscher bestimmt, ob er wächst oder schwindet. Im Akkumulationsgebiet, der obere Teil vom Gletscher, wo der Schnee das ganze Jahr nicht abschmilzt, entsteht im Verlaufe der Jahre aus dem Schnee Gletschereis. Unter dem Einfluss der Schwerkraft fliesst das Eis hinunter ins Ablationsgebiet, wo die Gletscheroberfläche jeden Sommer ausgeapert ist und das Gletschereis schmilzt. Wenn während eines Jahres im Akkumulationsgebiet genau soviel Eis neu entstehen kann, wie im Ablationsgebiet abschmilzt, hat der Gletscher eine ausgeglichene Massenbilanz, er befindet sich im Gleichgewicht und die Position seiner Zunge ist stationär. Überwiegt jedoch die Schmelze, ist die Massenbilanz negativ und die Gletscherzunge verschiebt sich aufwärts. Gemäss einer einfachen Faustregel gilt, dass bei einem Gletscher mit ausgeglichener Massenbilanz das Akkumulationsgebiet doppelt so gross sein muss wie das Ablationsgebiet. Oder mit anderen Worten: Ende Sommer, wenn die Schneegrenze ihre höchste Position erreicht hat, sollten noch immer zwei Drittel der gesamten Gletscherfläche schneebedeckt sein.

Der holländische Glaziologe Prof. Dr. Hans Oerlemans misst mit seiner Messstation auf dem Morteratschgletscher verschiedene meteorologische Parameter, welche die Massenbilanz beeinflussen und es ihm ermöglichen, interessante Massenbilanz-Rechnungen anzustellen. Dass die Massenbilanz aller Engadiner Gletscher negativ ist, beweist ein Blick auf die Zahlen des Gletschermessnetzes, wo jedes Jahr die Länge einiger ausgewählter Gletscher gemessen wird. Der Gletscherschwund wird aber auch bereits von Auge sichtbar, wenn man Fotos der Gletscher aus den letzten 10 Jahren vergleicht.

Der Hitzesommer 2003 hat die Engadiner Gletscher empfindlich getroffen und zu einer extremen Ausaperung geführt. Auf einigen Gletschern ist der Schnee fast komplett abgeschmolzen, sie hatten also in diesem Jahr praktisch kein Akkumulationsgebiet mehr. Der Saharastaub, von Südwinden im Mai 2003 herangeweht, blieb den ganzen Sommer über auf den Gletschern liegen und führte einerseits zu einem schmutzigen Aussehen, andererseits auch zu einer noch stärkeren Schmelze, weil sich die dunklen Sandkörner durch ihre tiefere Albedo stärker erwärmten als der weisse Schnee. Der Biancogrät stellt unter den Gletschern ein Spezialfall dar, er hat nicht nur die Form eines Grates, sondern er hat sich auch auf einem Felsgrat gebildet. Im Sommer 2003 war auch er vollständig ausgeapert. Der Biancogrät zeigt sich aber praktisch auch jeden Winter ausgeapert, weil der kalte, trockene Schnee rasch weggeblasen wird. Für seine Akkumulation ist er also auf Sommerschneefälle angewiesen, die feuchteren und schwereren Schnee bringen.

Die negative Massenbilanz führt nicht nur zu einem Längenverlust, sondern auch zu einer abnehmenden Mächtigkeit der Gletscher. Dies tritt besonders in Steilstufen zum Vorschein, wo der Gletscher aus fließdynamischen Gründen sowieso schon relativ geringmächtig ist. Der Volumenverlust kann hier zur Bildung von Felsfenstern führen. Seit vergangenem Sommer kann dies beim Morteratschgletscher beobachtet werden. Ein solches Felsfenster verstärkt die Schmelze in seiner unmittelbaren Umgebung, da sich der Fels in der Sonne stark erwärmen kann und diese Wärme ans umliegende Eis abgibt. Dieser Prozess kann sogar zur Durchtrennung eines Gletschers

führen. Dies konnte im Jahr 2006 am Sellagletscher, dem orographisch rechten Teil des Roseggletschers, beobachtet werden. Im Herbst 2010 hat sich aber auch der Roseggletscher selber in der Steilstufe auf der Höhe der Coaz-Hütte getrennt. Die noch etwa einen Kilometer lange Gletscherzunge hat somit den Kontakt zum Akkumulationsgebiet verloren und wird nun als Toteis bezeichnet.

Auch die Entstehung von Gletscherhöhlen muss auf eine stark negative Massenbilanz zurückgeführt werden. Das Schmelzwasser sammelt sich auf der Gletscheroberfläche zu mächtigen Strömen, welche durch in eine Spalte stürzen und ihren Weg am Gletscherbett fortsetzen, indem sie sich einen Kanal ins Eis schmelzen. Im Winter bleiben diese Kanäle offen, weil relativ wenig Eis vom Akkumulationsgebiet nach unten fließt. So vergrößern sich diese Kanäle im folgenden Sommer noch mehr und bilden im Winter faszinierende Eishöhlen. Ihre Existenz wird oft an der Gletscheroberfläche verraten und ist aus der Luft gut zu beobachten. Durch Absenkung oder sogar Einsturz der Höhlendecke bilden sich auf der Oberfläche kreisrunde Gletscherspalten oder trichterförmige bis scharfkantige Löcher. Beispiele dazu fanden sich in den letzten Jahren am Morteratsch- und Roseggletscher.

Im Rahmen des Forschungsprojektes GISALP des Nationalen Forschungsprogramms Nr. 48 (NFP 48) wurde an der Academia Engiadina versucht, in die Zukunft zu schauen und zu modellieren, welche Einflüsse die Klimaveränderung auf die Hochgebirgslandschaft des Oberengadins hat. Basierend auf der einfachen Faustregel, dass bei ausgeglichener Massenbilanz zwei Drittel der Gletscherfläche im Sommer schneebedeckt bleiben, und unter der Annahme einer Erwärmung um 3°C bis 2100 wurden die Gletscherstände für die Jahre 2025, 2050, 2075 und 2100 berechnet. Auch 2100 wird das Engadin nicht eisfrei sein, jedoch wird sich die Vergletscherung auf die höchsten Partien des Berninamassivs zurückgezogen haben. Die Folgen dieses Gletscherschwundes sind vielfältig:

**Bildung neuer Seen:** wo die Gletscheroberfläche heute besonders flach ist, wird sich mit grosser Wahrscheinlichkeit ein See bilden, wenn das Gletschereis abgeschmolzen ist. Im Oberengadin werden sich vermutlich bis elf neue Seen bilden.

**Naturgefahren:** die Naturgefahrenaktivitäten und die davon betroffenen Gebiete werden sich verschieben. Eislawinen, deren Trümmer heute auf dem Gletscher zu liegen kommen, könnten in Zukunft in einen See stürzen, im schlimmsten Fall dort eine Welle auslösen, welche überschwappt und im schuttreichen Gletschervorfeld einen Murgang auslöst. Die Gletschervorfelder werden an Fläche stark zunehmen und somit loses Geröll freilegen, womit die möglichen Anrissstellen für Murgänge zunehmen werden. Legt der Gletscher jedoch blanken Fels zutage, wird sich der Abfluss bei heftigen Gewittern oder langanhaltenden Regenfällen beschleunigen, das Regenwasser kommt schneller und direkter in die Flüsse, womit die Abflussspitze und somit die Hochwassergefahr steigt.

**Abfluss:** Eine abnehmende Gletscherfläche im Einzugsgebiet wird auch das jährliche Abflussverhalten der Flüsse verändern. Man rechnet in Zukunft mit weniger Wasser im Sommer, dafür mit mehr Wasser im Winter. Die Abflussspitze wird bereits im Frühling und nicht erst im Sommer erreicht. Da am Abfluss nicht nur Gletscherwasser, sondern auch Schneeschmelzwasser, Grundwasser und versickertes Regenwasser beteiligt ist, kann nicht grundsätzlich gesagt werden, dass wir kein Wasser mehr haben werden, wenn die Gletscher weg sind. Auch die Ova da Chamuera, die kaum Gletscher im Einzugsgebiet hat, ist im Sommer nicht trocken, hat aber ihre Abflussspitze während der Schneeschmelze und nicht im Hochsommer wie die Ova da Roseg.

**Wirtschaft:** Mit der Aufgabe des Sommerskibetriebs auf dem Corvatsch und der Diavolezza sind wirtschaftliche Konsequenzen der Klimaveränderung bereits seit Anfang der 90er Jahre Realität. Um den kleinen Diavolezzagletscher vor dem Abschmelzen zu bewahren, wird er seit 2006 mit einem weissen Fliess abgedeckt. Dadurch wird nicht nur verhindert, dass beim Abschmelzen eine Felsstufe

das Anlegen einer Skipiste unmöglich macht, sondern es wird auch 1- 3 Meter Schnee über den Sommer „gerettet“. Dieser müsste sonst mit viel Einsatz von Energie und Wasser künstlich produziert werden. Dank dieser Massnahme kann die Diavolezza bereits Mitte Oktober den Skibetrieb aufnehmen.

**Landschaftsattraktivität:** Das Aussehen und die Attraktivität der Landschaft im Oberengadin wird sich stark verändern, wenn die Gletscher abschmelzen. Im Rahmen unseres Forschungsprojektes haben wir auch versucht, die Landschaftsattraktivität zu modellieren. Dazu benutzten wir fünf Faktoren: Einzigartigkeit (z.B. Seenplatte, Biancograt), Vielfalt (nicht nur geschlossener Wald, sondern Felspartien oder Lawinenzüge dazwischen), Unberührtheit (im Sinne von Natürlichkeit), Eignung (man muss in der Landschaft auch etwas tun können, dafür braucht es Wanderwege, Bikerouten, Bergbahnen, Feuerstellen etc.) und Sichtbarkeit (Aussichtspunkte). Unsere Modellierung zeigt, dass bis ins Jahr 2100 die Landschaftsattraktivität an einigen Stellen abnimmt (Gletscherschmelze), an anderen Stellen aber auch zunimmt (Bildung neuer Bergseen).

Als Schlusswort sei erwähnt, dass in den Gletschervorfeldern auch neue Lebensräume für Tiere und Pflanzen entstehen, aus ihrer Perspektive hat der Gletscherschwund sicher eine positive Seite. Überhaupt sind die Gletschervorfelder als sehr dynamischer Ort zu bezeichnen, wo jedes Jahr ein Stück neue Landschaft entsteht.