

3. Gletscher und Permafrost

Auswirkungen auf die Alpengletscher

Die Gletscher spielen für den Wasserhaushalt der Schweiz eine wichtige Rolle: Sie speichern bedeutende Wassermengen und stellen im Sommer ein wichtiges Wasserreservoir dar. Aus der Rekonstruktion der Vorstoss- und Rückzugsphasen der alpinen Gletscher ist bekannt, dass Mitte des 16. bis Mitte des 19. Jahrhunderts eine Hochstandsphase herrschte. Sie wurde von einer kräftigen Abschmelzphase abgelöst. Im 20. Jahrhundert ist die Massenbilanz der alpinen Gletscher, das heisst die Grösse der Zu- oder Abnahme, insgesamt negativ [6].

Ausschlaggebend für die Massenbilanz der Gletscher ist das Zusammenspiel von Strahlung, Temperatur und Niederschlag in Abhängigkeit von der Jahreszeit. Wichtig sind die Schneefälle im Winter wie auch im Sommer. Liegt im Frühsommer Schnee auf dem Gletscher, dauert es wesentlich länger, bis das Gletschereis der Sonnenstrahlung ausgesetzt ist, da eine frische Schneefläche eine viel grössere Reflexionsfähigkeit hat als Altschnee oder dunkle und schuttbedeckte Stellen im Eis. Ein zweiter wichtiger Faktor sind die Witterungsverhältnisse von Mai bis September: je wärmer, trockener und strahlungsreicher das Wetter, desto grösser der Massenverlust bei den Gletschern [6].

Das Jahr 2003 war durch seine anhaltende Trockenheit, den grossen sommerlichen Wärmeüberschuss in der Höhe und das Ausbleiben von Kaltluftbrüchen ein extrem ungünstiges Jahr für die Gletscher. Nach einem Winter mit durchschnittlichen Schneemengen wurde der Abschmelzprozess durch frühes Ausapern der Gletscher begünstigt. Die Gleichgewichtslinie, unterhalb derer die Eisschmelze dominiert, stieg

zeitweise auf bisher nie beobachtete Höhen über 3500 m ü.M. In der Folge führten die Gletscherbäche viel Wasser und die Speicherseen mit stark vergletschertem Einzugsgebiet füllten sich rasch [6]. Satellitenbilder zeigten die rasche Bildung von neuen Seen und eine auffällige Verdunkelung von Eis- und Firnoberflächen. Ebenfalls beobachtet wurden kollabierende Eisstrukturen an verschiedenen Stellen sowie das totale Verschwinden von Schnee und Firn auf kleineren Gletschern, Eiskappen und in eisbedeckten Felswänden [15].

Das rekordmässige Abschmelzen der Gletscher beschränkte sich nicht auf die Schweiz, sondern wurde auch in Österreich beobachtet. Der geschätzte mittlere Schmelzbetrag entspricht einer Wassersäule von ca. 2.5 m [15] und ist ein absoluter Rekord für die Alpen. Er übertrifft den bisherigen Rekordverlust von 1998 (1.6 m) um mehr als 50% [15] (Abbildung 6). Der gesamte Volumenverlust der Alpengletscher im Jahr 2003 wird auf 5 bis 10% des Gletschervolumens 2002 geschätzt [6]. Die vertikale Ausdünnung der Gletscher ist so stark geworden, dass sich die Gletscherlänge nicht mehr dem horizontalen Eisnachschub anpassen kann. Deshalb wird das Einsinken und der „Kollaps“ von Gletscherzungen anstelle eines langsamen Rückgangs ein immer häufigerer Prozess [6].

Auswirkungen auf Permafrostgebiete

Die Hitzewelle brachte nicht nur die Gletscher zum Schmelzen, sondern hatte auch Folgen für den Permafrost. Ungefähr 4 bis 6% der Fläche der Schweiz sind Permafrostgebiete, das heisst Gebiete mit dauernd gefrorenem Boden. Weil sich der Permafrost unter einer sommerlichen Auftauschicht versteckt, die einen halben bis mehrere Meter dick sein kann, entzieht er sich der direk-

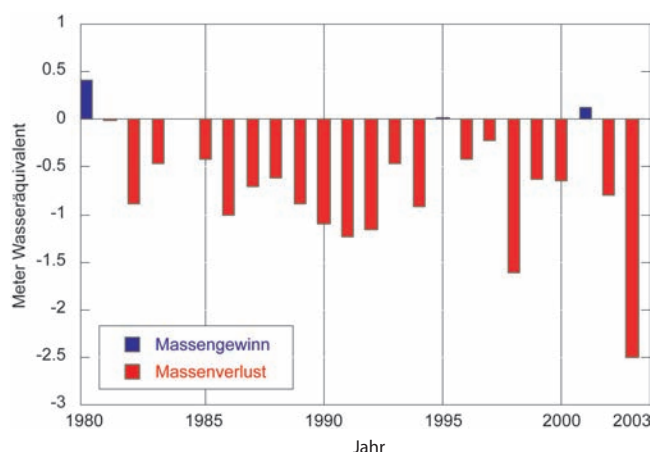
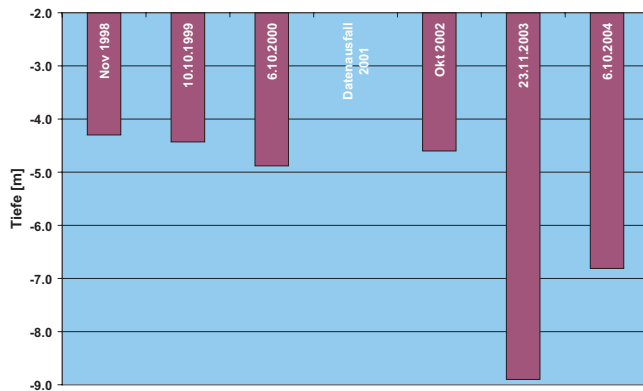


Abbildung 6: Massenverlust der Alpengletscher seit 1980. Die Mittelwerte wurden mit Hilfe der jährlichen Massenbilanz folgender Gletscher berechnet: St Sorlin (F), Sarennes (F), Silvretta (CH), Gries (CH), Sonnblickkees (A), Vernagtferner (A), Kesselwandferner (A), Hintereisferner (A), Careser (I).

Abbildung 7: Maximale Mächtigkeit und Zeitpunkt der sommerlichen Auftauschicht auf dem Schilthorn seit 1998. Der Permafrost im Fels enthält kaum Eis. Daher wird der grösste Anteil der Wärmeenergie in Form von Temperaturerhöhung umgesetzt. Im Jahre 2003 kam es dadurch beinahe zu einer Verdoppelung der Auftauschichtmächtigkeit.



Quelle: Vonder Mühl et al. 2005

ten Beobachtung. Wenn der gefrorene Untergrund jedoch taut, dann werden die Folgen spürbar.

Im Hitzesommer 2003 wurden insbesondere zwischen Juni und August eine grosse Zahl von Felsstürzen im gesamten Alpenraum, insbesondere in den oberen Höhenlagen und an nordexponierten Hängen, beobachtet. Als Auslöser für die Häufung von Steinschlägen und Felsstürzen kommen weder heftige Niederschläge noch andere vorübergehende Einflüsse auf die Hangstabilität in Frage. Als plausible Erklärung bleibt die Degradierung des Permafrostes im Hochgebirge aufgrund der hohen Temperaturen. Die ausserordentliche Felssturzaktivität im Sommer 2003 wird als Hinweis darauf gedeutet, dass die Destabilisierung auf-

grund extremer Hitze als fast sofortige Reaktion erfolgt [16,17]. Nicht nur die hohen Temperaturen waren ausschlaggebend für die Destabilisierung in Permafrostgebieten. Strahlung und Hitze konnten vor allem dort wirken, wo eine schützende Schneedecke fehlte. Schnee wirkt im Sommer auf den darunterliegenden Permafrost als Isolationschicht und reflektiert ausserdem die einfallende Strahlung viel stärker als unbedeckter Boden [18]. Im Winter hingegen verhindert eine frühe und kontinuierliche Schneeschicht durch die isolierende Wirkung die Auskühlung des Bodens. Nur bei unbedecktem Boden kann die Wärme dem Untergrund ungehindert entweichen. Das bedeutet, dass ein schneearmer Winter, unabhängig davon, ob er klimatologisch gesehen zu warm oder zu kalt ist, auf den Permafrost eine kühlende Wirkung hat.

Messungen haben gezeigt, dass der Wärmeeintrag ins Gebirge während des Hitzesommers markant höher war als in Normaljahren. Dies ist weniger auf die Höhe der absoluten Temperaturen zurückzuführen, sondern vor allem auf den langen Zeitraum der Erwärmung. In der Eigernordwand lag die Lufttemperatur während über 700 Stunden über 10 °C, im Jahre 2002 waren es ca. 120 Stunden [17]. Erstmals wurden 2003 Spuren von Schmelzwasser in der Nordflanke der Sphinx auf dem Jungfraujoch (3570 m ü.M.) beobachtet [17]. Aufgrund der langen Wärmeeinwirkung reichte dort die Auftauschicht während des Hitzesommers durchschnittlich ungefähr 10 bis 50 cm tiefer als während der vorangehenden Jahre [16]. In anderen Gebieten, wie zum Beispiel am Schilthorn, taute der Untergrund gar mehrere Meter

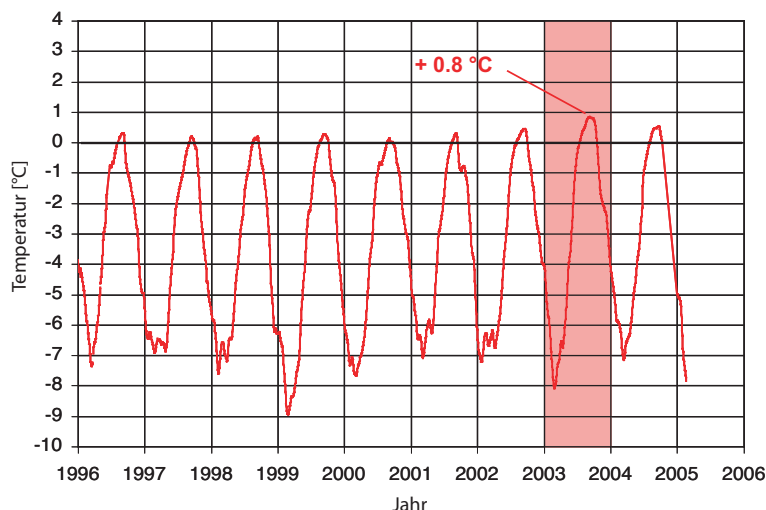


Abbildung 8: Felstemperaturen in der Sphinx-Nordflanke (3570 m ü.M.) 1996 bis Anfang 2005, gemessen 4 m unter der Oberfläche.

Quelle: H.R. Keusen [17]

tiefer als in früheren Jahren [15]. Die Mächtigkeit der sommerlichen Auftauschicht hängt vom Eisgehalt des Permafrosts ab. Am Schilthorn enthält der Permafrost im Fels kaum Eis, so dass der grösste Teil der Wärmeenergie als Temperaturerhöhung umgesetzt wird. Dies erklärt, warum die Auftauschicht am Schilthorn im 2003 fast doppelt so tief reichte wie in den Vorjahren (Abbildung 7). Bemerkenswert ist allerdings, dass auch im 2004 der Untergrund weit tiefer taute als vor dem Hitzesommer. Dies deutet darauf hin, dass sich die Auftauschicht des Jahres 2003 möglicherweise strukturell verändert hat, zum Beispiel durch ein Abtauen und nachfolgende Entwässerung.

Während die sommerliche Auftauschicht an Nordhängen primär von der Lufttemperatur beeinflusst wird, spielt an Südhängen die kurzweilige Strahlung eine wichtige Rolle. Dadurch sind südexponierte Hänge über das Jahr einer grösseren Variabilität ausgesetzt, und die Auftauschicht erreichte bereits vor 2003 grössere Tiefen [16]. Im Kältebereich liegende Nordflanken sind für Instabilitäten auch deshalb prädestiniert, weil sie viel Wasser bzw. Eis enthalten. Als Schmelzwasser kann dieses in Klüften Wasserdrücke erzeugen, die zu Felsdeformationen führen [17]. Der Einfluss der Hitze war daher an nordexponierten Hängen besonders gross, was die Häufung von Steinschlägen und Felsstürzen an Nordhängen erklärt [16,17] (Abbildung 8).

Auch wenn das Auftauen der Permafrostgebiete im Alpenraum für das Auge weniger spektakulär verläuft als das Verschwinden der Gletscher, können die Konsequenzen schwerwiegend sein. Es wird befürchtet, dass die Gefahr grosser Felsstürze als Folge der zunehmenden Tiefe der thermischen Veränderung ansteigen wird – eine mögliche Bedrohung für besiedelte Bergregionen. Auch verschiedene infrastrukturelle Anlagen sind aufgrund ihrer Verankerung im Permafrostboden einem erhöhten Risiko ausgesetzt. Taut der Untergrund, besteht für zahlreiche Bergbahnen, Skilifte und Lawinenverbauungen Handlungsbedarf, um Beschädigungen durch Setzungs- und Kriechvorgänge abzuwenden [18].