

Tafel 3.10 Kenngrössen der Gletscher und ihre Veränderungen 1850–2000

Einleitung

Mit den für die Schweizer Alpen existierenden Gletscherinventaren aus den Jahren um 1850, 1973 und um 2000 liegt eine umfassende und weltweit einzigartige Datendokumentation vor [5,6,7,8]. Darauf aufbauend, werden auf dem vorliegenden Atlasblatt die Charakteristik der schweizerischen Vergletscherung sowie deren Änderungen in der Schwundperiode seit dem Hochstand von 1850 veranschaulicht.

Das Grundlagenmaterial sowie die erhobenen Gletscherkenndaten sind in analoger (Karten, Datenblätter, Tabellen, Luftbilder) wie auch digitaler Form (z.B. Datenbanken, Satellitenbilder) verfügbar und abgespeichert. Die erfassten Gletscherkenngrossen können dabei nach räumlichen Kriterien (z.B. Gebirgsgruppen), wie auch nach glaziologischen Gesichtspunkten (z.B. Gletschertypen oder Expositionen) statistisch aufbereitet und für spezifische Fragestellungen gezielt analysiert werden [6].

Die erwähnten Gletscherinventare bieten für Forschung und Praxis interessante Aspekte und Anwendungsmöglichkeiten:

- Abschätzung zum Ausmass und zur Dynamik des Gletscherschwundes seit 1850;
- Anwendung von Schätzverfahren zur Modellierung des Gletscherverhaltens (z.B. Ableitung von Massenbilanzen aus Längenänderungen) [1,2];
- Basis zur Modellierung von Gletscherschwund-Szenarien für das 21. Jahrhundert [5,6];
- Kriterien zur Auswahl geeigneter Gletscher für gezielte Einzelstudien (z.B. «kalte» Gletscher als Klima- und Umweltarchive für Eisbohrungen);
- Erhebung und Quantifizierung der vorhandenen Eis- bzw. Wasserreserven;
- Lokalisierung abbruchgefährdeter Gletscher sowie von potentiell gefährlichen Gletscherseen und damit die Früherkennung von Hochwasser- und Murgangrisiken [3].

Vergletscherung und Gletschertypen

Gemäss der Inventardaten gibt es in den Schweizer Alpen zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch rund 2000 registrierte Gletscher (s. Karte 1:1 100 000) [6]. Die Vergletscherung ist auf die zentralen Teile der Walliser Alpen (z.B. Regionen Monte Rosa, Dent Blanche), Berner Alpen (Finsteraarhorn, Jungfrau, Aletschhorn) und Zentralschweizer Alpen (Damma) sowie sekundär auf die Südbündner Alpen (Bernina, Bergell) konzentriert. Diese asymmetrische räumliche Verbreitung ist Ausdruck der kleinräumig sehr variablen Voraussetzungen bezüglich Klima und Topographie.

Die Grössenverhältnisse der Gletscher und damit auch die Häufigkeit der vier Gletschertypen sind sehr unausgeglichen (Fig. 1). Das Bild wird in allen Gebirgsgruppen anzahlmässig durch die Gletscherflecken und Firnflecken (Typen C und D) dominiert (Fig. 2). Deren Anteil an der Gesamtvergletscherung ist jedoch flächenmässig von untergeordneter Bedeutung (Fig. 3). Die Talgletscher (Typ A) und die Gebirgsgletscher (Typ B) sind weit weniger häufig. Der Grosse Aletschgletscher, der grösste Alpengletscher überhaupt, nimmt in fast allen quantitativen Vergleichen stets eine Sonderstellung ein (vgl. Tab. 1).

Die Mehrzahl der Gletscher existiert bevorzugt in den nach Norden ausgerichteten und damit strahlungsgeschützten Expositionssektoren NW, N, NE. In den nach Süden orientierten und damit strahlungsexponierten Lagen SE, S, SW sind die Gletscher grundsätzlich wesentlich seltener und, bei ähnlichem Gebirgsbau, meist auch deutlich kleiner als auf der Nordseite (Fig. 4,5).

Gletscherschwund

Die Gletscher der Schweiz bedeckten um 1850 noch eine Gesamtfläche von 1800 km² (Fig. 6). Als Folge einer Temperaturerhöhung von rund 1 °C sind davon, bis ins Bezugsjahr 1973 mit einer Gesamtfläche von 1300 km², rund 500 km² oder 27 % abgeschmolzen [6]. Bis ins Bezugsjahr 2000 sind weitere 250 km² verschwunden [8]. Im Jahr 2000 bedeckten die Gletscher noch eine Gesamtfläche von 1050 km². Die Vergletscherung der Schweiz ist als Folge des «Jahrhundertschwundes» demnach auf 58 % der Ausdehnung von 1850 geschrumpft. Heute sind noch 2.5 % der Landesfläche vergletschert.

Von 1850 bis ins Inventarjahr 1973 hat das Eisvolumen insgesamt um 35 km³ von ursprünglich 110 km³ auf 75 km³ abgenommen. In den letzten drei Jahrzehnten sind, bei beschleunigter Zerfallstendenz, weitere 20 bis 30 Volumenprozent abgeschmolzen. In der Mehrzahl der Regionen betragen die Volumenverluste seit 1850 deutlich mehr als die Hälfte des Ausgangsvolumens. Das um 2000 in den Schweizer Alpen vorhandene Eisvolumen kann demnach auf 50 bis 60 km³ geschätzt, die entsprechend im Eis der Gletscher gespeicherte Wassermenge mit 45 bis 55 km³ beziffert werden (Fig. 7).

Die prozentualen Schwundanteile der Flächen und Volumina korrelieren umgekehrt proportional sowohl mit der Ausgangsgrösse wie auch mit dem regionalen Umfang der Vereisung. Gletscher oder Gletscherregionen mit reduzierten Ausgangsdimensionen (z.B. Unterengadin, Basòdino, Grand Muveran) haben prozentual wesentlich umfangreichere Verluste hinnehmen müssen als grössere Gletscher und stärker vereiste Regionen (z.B. Aletschhorn, Monte Rosa, Dent Blanche).

Lage und Anstieg der Gleichgewichtslinie

Die mittlere Lage der Gleichgewichtslinie (GWL) ergibt sich aus einem angenommenen Flächenverhältnis von 2:1 zwischen Akkumulations- und Ablationsgebiet. Diese Linie wird deshalb als 2:1-Gleichgewichtslinie (2:1-GWL) bezeichnet. Die Höhenlage der Gleichgewichtslinien variiert von 2300 m bis 3100 m ü.M. und umfasst damit grosse Temperaturbereiche. Diese erhebliche Variation kann primär mit der Lage im Raum und den klimatischen Voraussetzungen erklärt werden. Im weiteren spielen Expositionsunterschiede eine Rolle, die zu Differenzen der Gleichgewichtslinie von bis zu 300 m zwischen Nord- und Südhängen führen.

Eine aus den regionalen Mittelwerten berechnete Trendoberfläche zeigt eine von den niederschlagsreichen nördlichen Alpenrandgebieten gegen die trockeneren inneralpin gelegenen Regionen gerichtete Höherverschiebung der Vergletscherung bzw. der Gleichgewichtslinie. Als «GWL-Kulminationen» erweisen sich dabei die Regionen Monte Rosa, Aletschhorn und Bernina, als «GWL-Mulden» die spürbar feuchteren Regionen Tour Sallière, Grand Muveran, Gotthard, Flims–Pizol und Bergell. Diesem überregionalen, hauptsächlich dem Niederschlagsangebot folgenden Haupttrend sind sekundär die Expositionsunterschiede, also die Strahlungsverhältnisse, und zusätzlich weitere lokale Effekte wie die Winddrift aufgelagert. Die GWL-Positionen im Bezugsjahr 1973 repräsentieren dabei den Zeitraum 1960–1990 (Fig. 8,9).

Der Anstiegsbetrag der Gleichgewichtslinie im Zeitraum 1850–1973 liegt, gesamthaft betrachtet, in der Grössenordnung von knapp 100 Metern (Fig. 10). Dieser Wert signalisiert gesamthaft die Reaktion der Gletscher auf die Klimaänderung seit Mitte des 19. Jahrhunderts. Die räumliche Variation der Anstiegsbeträge der Gleichgewichtslinie deutet auf eine seit 1850 leicht zunehmende Austrocknungstendenz in den zentralen Alpen und den südlichen Randgebieten hin (z.B. Monte Rosa, Aletschhorn, Bernina), also in Regionen mit allgemein hoch gelegenen Gletschern.

Mit den neu verfügbaren digitalen Gletscherumrissen und einem digitalen Höhenmodell wurden die Flächenanteile der Gletscher in den einzelnen Höhenstufen ermittelt und für die Zeiträume 1850–1973 und 1973–2000 miteinander verglichen (Fig. 11). In beiden Teilfiguren wird deutlich, dass die grössten absoluten Flächenverluste in den Höhenstufen mit der stärksten Vergletscherung auftreten, während die grössten relativen Änderungen in den untersten Höhenstufen stattfinden.

Veränderung der Gletscherfläche

Die überaus grosse Individualität der einzelnen Gletscher hinsichtlich ihrer Reaktionsweise kommt in den Figuren 12, 13 und 14 deutlich zum Ausdruck. Trotz der bei den Gletscher- und Firnflecken besonders weit gefächerten Streuung lässt sich klar erkennen, dass sich die prozentualen Schwundbeträge in beiden Bezugszeiträumen 1850–1973 und 1973–2000 umgekehrt proportional zur Gletschergrösse verhalten. So verzeichneten die Talgletscher im Durchschnitt die geringsten (10–20 %), die Firnflecken die umfangreichsten Verlustanteile (20–100 %). Mehrere hundert Gletscher- und Firnflecken sind seit 1850 ganz verschwunden.

Methodik

Die Bestimmung der Gletscherausdehnung sowie die Erhebung der wichtigsten Kenngrössen (Fig. 15,16) erfolgte in den drei Jahren 1850, 1973 und 2000 auf unterschiedliche Art und Weise. Zur Abgrenzung des Gletscherhochstandes von 1850 wurden die Original-Messtischblätter ausgewertet und gebietsweise durch Feldbegehungen mit Moränenkartierungen ergänzt (Fig. 17) [5,6]. Das Inventar von 1973 basiert auf speziellen Luftbildflügen, anhand derer die Gletscher optisch abgegrenzt und deren Umrisse sodann manuell auf die Landeskarten 1:25 000 übertragen wurden (Fig. 17) [7]. Das neue schweizerische Gletscherinventar (SGI 2000) beruht auf Satellitendaten (Landsat Thematic Mapper) und einer automatisierten Kartierung der Gletscherfläche (Fig. 18) [8]. Die wichtigsten Gletscherparameter (z.B. Neigung, Exposition, Höhenlage der Gleichgewichtslinie etc.) wurden mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems und eines digitalen Höhenmodells abgeleitet. Dieses neue Inventar eröffnet aufgrund seiner modernen Methodik und der damit verfügbaren Analyse- und Darstellungsmöglichkeiten neue Perspektiven [4,8,9]. Da es noch nicht ganz abgeschlossen ist, standen für die vorliegende Tafel nicht alle wünschbaren Daten zur Verfügung. Deshalb wurde unter anderem in den Figuren 2 und 3 der Stand 1973 dargestellt, der aber für diese Themen auch für den Zeitraum um 2000 noch repräsentativ ist.

Fazit

Die hier dargestellten glaziologischen Fakten unterstreichen die wichtige Bedeutung der Gletscher als sensible Klimaindikatoren. Ihre Eignung als Modellgrössen zur Früherkennung beschleunigter Entwicklungen wie die Veränderung des Wasserhaushaltes, des Naturgefahrenpotentials wie auch des Landschaftsbildes macht die Gletscher der Schweizer Alpen zu Schlüsselgrössen des gegenwärtigen und des für das 21. Jahrhundert prognostizierten Klimawandels [2].

Literatur

- [1] **Haeberli, W., Hoelzle, M. (1995):** Application of inventory data for estimating characteristics of and regional climate-change effects on mountain glaciers: a pilot study with the European Alps. In: *Annals of Glaciology* 21:206–212, Cambridge.
- [2] **Haeberli, W., Maisch, M., Paul, F. (2002):** Mountain glaciers in global climate-related observation networks. In: *Bulletin WMO*, Vol. 51, No. 1:18–25, Genève.
- [3] **Huggel, C. (2004):** Assessment of Glacial Hazards based on Remote Sensing and GIS modeling. PhD Thesis, Department of Geography, University of Zurich, *Physische Geographie* Vol. 44, Zürich.
- [4] **Kääb, A. et al. (2002):** The new remote sensing derived Swiss glacier inventory: II. Results. In: *Annals of Glaciology* 34:362–366, Cambridge.
- [5] **Maisch, M. (1992):** Die Gletscher Graubündens. Rekonstruktion und Auswertung der Gletscher und deren Veränderungen seit dem Hochstand von 1850 in Gebiet der östlichen Schweizer Alpen. Teile A und B, *Physische Geographie* Vol. 33, Zürich.

- [6] **Maisch, M. et al. (2000):** Die Gletscher der Schweizer Alpen. Gletscherhochstand 1850, Aktuelle Vergletscherung, Gletscherschwund-Szenarien. Schlussbericht NFP 31, Zürich.
- [7] **Müller, F., Cafilisch, T., Müller, G. (1976):** Firn und Eis der Schweizer Alpen – Gletscherinventar. ETH-Zürich, Publ. Nrn. 57 und 57a, Zürich.
- [8] **Paul, F. (2004):** The new Swiss glacier inventory 2000 – Application of Remote Sensing and GIS. PhD Thesis, Department of Geography, University of Zurich, Zürich.
- [9] **Paul, F. et al. (2002):** The new remote sensing derived Swiss glacier inventory: I. Methods. In: Annals of Glaciology 34:355–361, Cambridge.
- [10] **Wipf, A. (1999):** Die Gletscher der Berner, Waadtländer und nördlichen Walliser Alpen. Eine regionale Studie über die Vergletscherung im Zeitraum «Vergangenheit» (Hochstand von 1850), «Gegenwart» (Ausdehnung im Jahr 1973) und «Zukunft» (Gletscherschwund-Szenarien 21. Jhd.). Dissertation Geographisches Institut der Universität Zürich, Physische Geographie Vol. 40, Zürich.
-
- [11] **Quellen Fig. 17:** Original-Messtischblatt Nr. 495 Zermatt (Ausschnitt) © Bundesamt für Landestopographie; Luftbild vom 7. September 1973, Gletscherinventar 1973, ETH Zürich; Photo: M. Maisch.