

## Tafel 3.7 Längen- und Massenänderungen der Gletscher

### Einleitung

Gegen Ende der Eiszeit vor rund 11 000 Jahren stürzte der Aletschgletscher letztmals bei Brig im Rhonetal. Danach zogen sich die Gletscher innert weniger Jahrhunderte aus den Haupttälern der Alpen in den Bereich ihrer Schwankungen in historischer Zeit zurück. Archäologische Funde wie die Mumie vom Similaungletscher im Ötztal (Österreich) zeigen auf, dass die Alpengletscher vor gut 5000 Jahren so klein waren, wie sie heute sind. Baumreste aus der Römerzeit bezeugen, dass der Grosse Aletschgletscher vor rund 2000 Jahren hinter dem heutigen Tiefststand dieses Jahrtausends endete (vgl. Tafel 3.8). Ab dem späten Mittelalter haben die Gletscher bei ihren Vorstössen während der «Kleinen Eiszeit» die Moränenwälle hinterlassen, die ihr Vorfeld im allgemeinen begrenzen. Um 1850 sind sie letztmals an diese Grenze vorgerückt. Diesen jüngsten Höchststand hat der Trient schon 1845, der Unteraar erst 1870 erreicht. Das seither allgemein vorherrschende Schwinden der Gletscher wird seit 1874 bzw. 1880 jährlich an den in der Tafel 3.1 beschriebenen Messnetzen beobachtet. Das vorliegende Kartenblatt stellt die wichtigsten Ergebnisse dieser Beobachtungen dar; es zeigt, wie sich der Schwund im Gesamten durchaus gleichsinnig, im Einzelfall jedoch in vielfältiger Weise eigentümlich entwickelt hat. Er ist mit den Messreihen nur teilweise erfasst. Sein ganzes Ausmass ist im Gelände an Unterschieden im Pflanzenwuchs und in der Bodenbeschaffenheit in- und ausserhalb des Vorfelds erkennbar. Diese Unterschiede sind auch in den Landeskarten dargestellt. Auf dieser Grundlage wurde der Gesamtbetrag der Längenänderung beziffert und die Messreihe auf den Höchststand bezogen. Das Jahr, in dem der Höchststand erreicht wurde, ist oft ungewiss. Zumeist lag es innerhalb des Jahrzehnts 1850–1860. Die Massenhaushaltsreihen sind mit geodätisch bestimmten Mehrjahreswerten, zum Teil auch mit rekonstruierten Jahreswerten ergänzt. Zusammenfassende Darstellungen der längsten und vollständigsten Messreihen sind in [1,2] veröffentlicht.

### Längenänderung

In Karte und Tabelle ist der gesamte Längenschwund seit dem letzten Höchststand für alle im Messnetz erfassten Gletscher dokumentiert. Für jene des aktuellen Netzes ist angegeben, welchem Typ sie sich aufgrund ihres Verhaltens zuordnen lassen. Die wesentlichen Merkmale der fünf Typen sind in der Tabelle 2 beschrieben. Wie bei jeder Typisierung ist die Zuordnung manchmal eine Frage des Ermessens. In Figur 1 ist die Längenänderung für je sechs Vertreter der Typen A, P, R und T durch die Summenkurve dargestellt, die bei der Typisierung als Hauptkriterium gedient hat. Generell ist festzuhalten, dass die Längenänderung bei den Typen A, R und T durch die Gletscherbewegung am Zungenende massgebend bestimmt wird. Beim Typ P dagegen wird sie, wie der Massenhaushalt allgemein, vorwiegend durch Ablation und Akkumulation gesteuert. Diese vier Typen verkörpern gewissermassen normales Verhalten, das bei Typ S aus verschiedenen Gründen gestört ist [11]. Die Typen A und T bilden das gegensätzliche Paar grosser, flacher Gletscher und mittelgrosser, steiler Gletscher, die auch unterschiedlich auf Klimaveränderungen reagieren. Die Schwankungen in der Längenänderung des Trient (Typ T) stimmen zeitlich mit jenen im Massenhaushalt überein. Beim Grossen Aletsch (Typ A) treten sie in der Längenänderung etwa dreissig bis vierzig Jahre später als beim Trient auf. Typ R steht als Übergangsform in verschiedener Hinsicht zwischen den Typen A und T. Nach [7] lassen sich die Längenänderungen seit 1850, auf einen schweizerischen Durchschnittsgletscher bezogen, wie folgt zusammenfassen: Um 1850 betrug seine Länge 1.41 km, die bis 1973 auf 0.92 km, d.h. um rund 35 %, verkürzt wurde. Der prozentuale Längenschwund war damit etwas grösser als die relative Flächen- (27 %) und Volumeneinbusse (31 %).

### Längenschwund des Trientgletschers

Die Längenänderung des Trientgletschers wird seit 1878 jedes Jahr – ausser 1993 – im Gelände

gemessen. Seit 1956 ist die Lage des Zungenendes im Grundriss (Fig. 3), in manchen Jahren auch das Längsprofil im Aufriss (Fig. 4) festgehalten. Figur 2 zeigt den Schwankungsbereich des Zungenendes im Verhältnis zum ganzen Gletscher. In Figur 3 ist der Grundriss der Zungenendlagen mit einer Orthophoto unterlegt. Die kahle Fläche im Vorfeld liegt innerhalb der Vorstossmoräne von 1987, der talseits gelegene Jungwald ist nach dem 1920er Vorstoss gewachsen. Figur 4 belegt die bekannte und typische Erscheinung, dass sich das Zungenende am vorstossenden Gletscher steil aufwölbt, am zurückweichenden keilförmig abflacht.

## Massenänderung

Die Massenänderung wird mit den in der Tafel 3.1 beschriebenen Verfahren bestimmt. In Figur 5 sind Bilanzergebnisse für vier Gletscher dargestellt. Das Säulendiagramm enthält die Jahreswerte. Die Summenkurve, die mit Mehrjahreswerten ergänzt ist, reicht beim Rhonegletscher bis zum Höchststand von 1856 zurück. In den übrigen Fällen ist sie teilweise linear extrapoliert. Die Summenkurve Silvretta beruht auf dem Periodenwert 1938–1959 und den Jahreswerten ab 1959. Für Limmern sind die Werte 1947–1985 am Pegelnetz bestimmt. Die übrigen sind anhand der Pegelmessungen, die auf dem Claridenfirn seit 1914 im Gang sind [9,10], rekonstruiert. Für den Rhonegletscher sind die Mehrjahreswerte 1856–1874 und 1874–1881 geodätisch bestimmt [8]. Die Jahreswerte 1882–1913 und 1978–1982 sind am Pegelnetz ermittelt; die übrigen sind aus dem Jahresniederschlag und der Sommertemperatur der Klimastationen Andermatt und Reckingen rekonstruiert [5,9]. Die Jahreswerte für die Gletscher im Aletschgebiet sind aus dem Wasserhaushalt im Einzugsgebiet der Massa abgeleitet (Fig. 10). Als räumlicher Mittelwert beziehen sie sich auf sämtliche Gletscher im Untersuchungsgebiet [4,9].

In allen Messreihen herrschen Schwundjahre mit defizitärem Massenhaushalt vor. Zwischen 1850 und 1973 ist das Volumen der Gletscher von ursprünglich  $107 \text{ km}^3$  auf  $74 \text{ km}^3$  zurückgegangen [7]. Ein gemeinsames Muster in der zeitlichen Verteilung der Jahreswerte ergibt sich aus der Häufung von Zuwachsjahren um 1920 und 1980 sowie aus der Überzahl starker Schwundjahre um 1950. In manchem Jahr ergibt die Bilanz für die einzelnen Gletscher stark verschiedene, gelegentlich extrem gegensätzliche Werte als Folge ungleichmässiger räumlicher Verteilung des Niederschlags. Dies ist auch in den Summenkurven ersichtlich: Um 1920 nahm der Rhonegletscher stärker zu als Limmern und Aletsch; um 1980 verhielt es sich umgekehrt.

## Massenänderung des Griesgletschers

Der Massenhaushalt des Griesgletschers wird mit der geodätischen Methode seit 1923 in mehrjährigen Intervallen, ab 1961 am Pegelnetz jährlich beobachtet [3,6]. Figur 6 zeigt die Dickenänderung in der Periode 1986–1991, in der die Gletscheroberfläche im Mittel um  $1.4 \text{ m/Jahr}$  abgesunken ist. In Figur 7 sind für die Periode 1961–1985 die Bilanzergebnisse der Jahre mit grösstem Schwund, mit grösstem Zuwachs sowie des Jahres ohne Veränderung der Gesamtmasse dargestellt. Die Linien gleicher Massenänderung zeigen die räumlichen Unterschiede im Massenhaushalt. Die Gleichgewichtslinie entspricht ungefähr der Schneegrenze am Ende der Schmelzperiode. Die räumlichen Variationen hängen von der Höhe über Meer und anderen Kenngrössen der Gletscheroberfläche (z.B. Neigung, Exposition, Krümmung, Albedo) ab. Die Höhenabhängigkeit der Massenänderung wird im Diagramm durch die aus allen Messwerten des Bilanzjahrs ermittelte Regressionskurve dargestellt. Gemäss den klimatischen Gegebenheiten ändert sie von Jahr zu Jahr. Für den Massenhaushalt des Gletschers ist im Zuwachsjahr vor allem das Niederschlagsregime massgebend, im Schwundjahr vor allem das Wärmeregime.

## Gletscherschwund im Aletschgebiet

Seit 1850 hat sich die Gletscherfläche im Einzugsgebiet der Massa von  $148 \text{ km}^2$  auf  $127 \text{ km}^2$  vermindert (Fig. 8). Gegenwärtig ist sie auf 33 Gletscher verteilt; davon sind die drei grössten im Messnetz erfasst.

An den kahlen Moränenhalden ist der Dickenschwund im Gelände gut erkennbar. Figur 9 vergleicht die Lage der Gletscheroberfläche in zwei Querschnitten: Im Konkordiaprofil beträgt die totale Absenkung seit 1850 rund 100 m. Am Ausfluss des Konkordiaplatzes ist das Gletscherbett durch Radarsondierungen im Frühjahr 1995 rund 600 m unter der Oberfläche geortet worden. In der Mitte des Konkordiaplatzes ist es im Sommer 1990 in gut 900 m Tiefe erbohrt worden. Dass die Talsohle dort stark übertieft ist, hatten seismische Sondierungen schon in den Jahren 1929 und 1958 vermuten lassen. Im Aletschwaldprofil liegt die Oberfläche, die seit 1850 um rund 300 m abgesunken ist, zur Zeit nur noch 50–60 m höher als das Gletscherende. Dieser Talabschnitt war am Ende der Eiszeit etwa 600 m hoch, also fast randvoll mit Gletschereis bedeckt.

Die Veränderung der Eisdicke wird seit 1945 durch jährliches Vermessen von Oberflächenprofilen erfasst. Zwischen 1927 und 1944 wurde sie anhand topographischer Karten ermittelt. In der Wachstumsperiode um 1980 (vgl. Fig. 5) hat die Eisdicke im hintersten Zungenbereich zeitweilig zugenommen, im vordersten dauernd und progressiv abgenommen (vgl. Fig. 9).

## Wasserhaushalt im Aletschgebiet

Der Wasserhaushalt des Einzugsgebiets oberhalb der Abflussmessstation an der Massa wird aus gemessenen Niederschlags- und Abflussmengen berechnet [4,9]. Figur 10 zeigt den durchschnittlichen Jahrgang der Periode 1931–1990. Der Niederschlag ist ungefähr gleichmässig auf das ganze Jahr verteilt. Der Abfluss folgt mit niederen Winter- und hohen Sommerwerten dem typischen Jahrgang des glazialen Regimes (s. Tafel 5.2). Die als Schnee gespeicherte Wassermenge nimmt im Winter stetig zu. Im Sommer wird sie durch variable Tagesdefizite entsprechend dem für Schmelze und Abfluss massgebenden Temperaturverlauf vermindert.

Auffällige Merkmale der Zeitreihen 1901–1995 sind die hohen Niederschlagswerte um 1980 und der überaus hohe Abflusswert im Jahr 1947. Die periodisch wechselnde Tendenz des Abflusses (steigend bis 1950 und ab 1980, fallend von 1950 bis 1980) tritt in der Entwicklung der gespeicherten Wassermenge gegensinnig in Erscheinung.

## Literatur

- [1] **Aellen, M. (1995):** Jährlich erfasste Gletscherveränderungen in den Schweizer Alpen. In: Gletscher im ständigen Wandel – Jubiläumssymposium der Schweizerischen Gletscherkommission:123–146, Zürich.
- [2] **Aellen, M. (1995):** Glacier mass balance studies in the Swiss Alps. In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Band 31:159–168, Innsbruck.
- [3] **Aellen, M., Funk, M. (1988):** Massenbilanz des Griesgletschers von 1961 bis 1986 – Vergleich verschiedener Bestimmungsverfahren. In: Mitteilungen der VAW, Nr. 94:9–50, Zürich.
- [4] **Aellen, M., Funk, M. (1990):** Bilan hydrologique du bassin versant de la Massa et bilan de masse des glaciers d'Aletsch. In: IAHS Publication, no. 193:89–98, Wallingford.
- [5] **Chen, J., Funk, M. (1990):** Mass balance of Rhonegletscher during 1882/83–1986/87. In: Journal of Glaciology 36, no. 123:199–209, London.
- [6] **Funk, M., Morelli, R., Stahel, W. (1997):** Mass balance of Griesgletscher 1961–1984: Different methods of determination. In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Band 33, Heft 1: 41–56, Innsbruck.
- [7] **Maisch, M. et al. (1998):** Die Gletscher der Schweizer Alpen. Gletscherhochstand 1850 – Aktuelle Vergletscherung – Gletscherschwund-Szenarien. Schlussbericht NFP 31, Zürich.
- [8] **Mercanton, P.L. (1916):** Vermessungen am Rhonegletscher 1874–1915. Neue Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Band 52, Basel.

- [9] **Müller, H. et al. (1994):** Langjährige Massenbilanzreihen von Gletschern in der Schweiz. In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Band 30:141–160, Innsbruck.
- [10] **Müller, H., Kappenberger, G. (1991):** Claridenfirn-Messungen 1914–1984. Zürcher Geographische Schriften, Heft 40, Zürich.
- [11] **Röthlisberger, H. (1997):** «Normale» und aussergewöhnliche Gletscherveränderungen. In: Mitteilungen der VAW, Nr. 149:11–27, Zürich.