

4.8 Veränderungen der Schweizer Gletscher*

HEIDI ESCHER-VETTER & JOSÉ L. LOZÁN

Veränderungen der Schweizer Gletscher: In der Schweiz wird das Vorstoßen und Zurückgehen der Gletscher bereits seit dem ausgehenden 19. Jahrhundert systematisch mit verschiedenen Methoden erfasst. Der Beitrag skizziert zunächst die klimatischen Randbedingungen für die derzeitige Verteilung der Eismassen. Dann werden die Anzahl der beobachteten Gletscher und die prozentualen Anteile von zurückgehenden, stationären und vorstößenden Gletschern der letzten 130 Jahre als Gesamtheit und flächendifferenziert diskutiert. An ausgewählten Gletschern mit unterschiedlicher Beobachtungsdauer – von 25 bis 100 Jahren – werden die Massenänderungen seit dem Beginn der Messungen dargestellt. Ein kurzer Ausblick beschließt den Artikel.

Changes of glaciers in Switzerland: In Switzerland, the advances and retreats of glaciers are determined systematically with various methods since the end of the 19th century. The article gives a short overview of the climatic conditions for the present distribution of the ice masses. The numbers of glaciers under observation and the relative shares of retreating, stationary and advancing glaciers are discussed for the last 130 years, both for total numbers and for different area intervals. For selected glaciers with different periods of observation – from 25 to 110 years – the mass changes are presented. A short preview is given in the end.

Die systematische Gletscherbeobachtung begann in der Schweiz im ausgehenden 19. Jahrhundert mit der jährlichen Klassifikation der Gletscherlänge, die bereits um 1880 an etwa 10 Gletschern durchgeführt wurde. Schon 1914 wurde die Bestimmung der Massenbilanz des Claridenfirns mit der klassischen glaziologischen Methode aufgenommen. Auch wenn diese über viele Jahre nur an zwei Pegeln im oberen und unteren Gletschergebiet erfolgte, gibt die lückenlos vorliegende Zeitreihe dennoch ein realistisches Bild der Gesamtmassenbilanz dieses Gletschers, sie stellt damit eine der längsten Massenbilanzserien eines Alpengletschers dar. In KASSER et al. (1986) und MÜLLER & KAPPENBERGER (1991) sind die Ergebnisse und die angewandte Methodik für die Jahre 1914 bis 1978 bzw. 1914 bis 1984 geschildert. HUSS & BAUDER (2009) leiten aus diesen verbessert aufbereiteten Werten getrennt die Akkumulations- und Ablationsreihen ab und interpretieren sie aus klimatologischer Sicht.

Infolge der notwendigen Kürze der folgenden Darstellung kann auf das überaus reichliche Material der Forschungen an Schweizer Gletschern hier nur auszugsweise eingegangen werden. Die folgenden Ausführungen und Daten basieren vor allem auf zwei

Quellen. Das sind zum einen die schon im Jahr 1880 von F.A. Forel begründeten Schweizer GLETSCHERBERICHTE, die bis zum heutigen Tag als Zusammenstellung für eine große Anzahl von Gletschern veröffentlicht werden. Die aktuellste Ausgabe (BAUDER 2015) umfasst die Jahre 2009/10 und 2010/11. Zum zweiten sind vor allem die Angaben zu Fläche und Anzahl der Schweizer Gletscher einer Publikation entnommen, welche die Ergebnisse des neuesten Gletscherinventars der Schweiz SGI2010 enthält (FISCHER et al. 2014). Die Methodik einer Gletscher-Inventarerstellung für die ganze Erde wird von PAUL (Kap. 4.1 in diesem Band) dargestellt.

Kurzer Abriss der glaziologischen und klimatischen Randbedingungen

Abb. 4.8-1 zeigt anhand eines Nord-Südschnittes die mittleren Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse im Nord-, Zentral- und Südalpenbereich. Während auf der Nord- und Südabdachung der Alpen auf ca. 2.000 m NN Niederschläge in der Größenordnung von 2.000 bis 2.800 mm pro Jahr gemessen werden, betragen die Werte in den Zentralalpen nur 800 bis 1.800 mm. Die mittleren Sommertemperaturen liegen in den südlichen

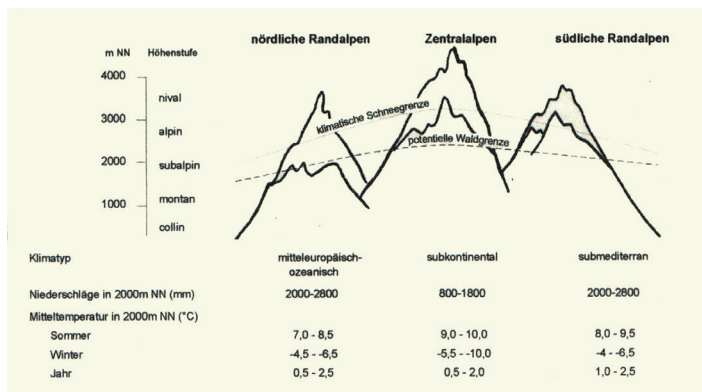


Abb. 4.8-1: Darstellung klimatischer Charakteristika entlang eines Querprofils durch die Alpen (generalisiert). Quelle: POTT et al. 1998, geändert.

* Leider wurde der ursprünglich vorgesehene Beitrag nicht geliefert. Dieser Artikel stellt daher nur eine sehr kurze Beschreibung der aktuellen Änderungen der Schweizer Gletscher auf der Grundlage der zitierten Arbeiten dar.

Randalpen etwa 1 °C über denjenigen im Nordalpengebiet, unterscheiden sich also nicht so klar wie die Niederschläge. Damit ist die geographische Verteilung der Schweizer Gletscher durch den Kontrast zwischen mitteleuropäisch-ozeanischem Klima im Norden und subkontinentalen Witterungsbedingungen in den Zentralalpen dominiert, die zu einer deutlich asymmetrischen Vergletscherung zwischen dem westlichen und dem östlichen Teil des Landes führt. So ist die Westschweiz auf Grund ihres großen Potentials für Schnee- und Eissakkumulation sehr stark vergletschert, besonders in den hoch gelegenen Berner Alpen im Norden und den Walliser Alpen am Alpenhauptkamm (MAISCH et al. 2000).

Insgesamt wird die Schweiz von kleinen und ziemlich steilen Gletschern dominiert. Firn- oder Eisflecken und Hängegletscher sind die häufigsten und weit verbreiteten Gletschertypen (HAEBERLI & HOELZLE 1995). Große Gipfelgletscher und Talgletscher sind in der Minderheit, sie stellen aber mit Abstand den größten Teil der vergletscherten Fläche und des Eisvolumens dar (vgl. FARINOTTI et al. 2009).

Längen- und Flächenänderungen

Die Gletscher in den Schweizer Alpen erreichten im letzten Jahrtausend ihre maximale Ausdehnung am Ende der Kleinen Eiszeit (LIA) um 1850 (IVY-OCHS et al. 2009). Damals wurde die gesamte vergletscherte Fläche auf 1.735 km² beziffert (MAISCH et al. 2000), was 4,2% der Fläche des ganzen Landes entspricht. Danach erfolgte ein allgemeiner Gletscherrückzug und im Jahr 1973 waren nur noch 1.307 km² von Gletschern bedeckt. Dies entspricht einem Flächenverlust von 428 km² (-25% bzw. -0,2%/Jahr) zwischen 1850 und 1973.

Nach einer Stagnationsphase, die von den 1970er bis in die Mitte der 1980er Jahre mit nur geringfügigen Massenänderungen andauerte, schrumpften die Schweizer Gletscher – wie die meisten Gletscher in den Alpen – rasch weiter. Im Zeitraum 1985-1999 betrug die Verluste etwa -18% bzw. -1,3%/Jahr (PAUL et al. 2004).

Abb. 4.8-2 zeigt im oberen Teil die Anzahl der Gletscher mit Längenmessungen, im unteren Teil ist angegeben, wie viel Prozent dieser Gletscher im jeweiligen Jahr im Vorstoß oder Rückgang begriffen waren oder sich stationär verhielten, d.h. die Lage ihrer Zunge nicht veränderten. Man erkennt deutlich die stationäre Phase in der Mitte des Jahrhunderts, ebenso wie die beiden Vorstoßphasen zwischen 1910 und 1925 und zwischen 1970 und 1985; insbesondere in der 2. Phase stießen bis zu 60% der Gletscher vor, während im letzten Jahrzehnt mehr als 90% zurückgingen. Diese Werte gelten für alle mit dieser Methode erfassten Gletscher, die seit mehr als einem halben Jahrhundert bei etwa 100 Gletschern liegt, sind also unabhängig von der Gletschergröße.

Das im Jahr 2010 erstellte Gletscherinventar SGI2010 (FISCHER et al. 2014) ergab für die gesamten Schweizer Alpen eine vergletscherte Fläche von nur noch 944,3 km² oder 2,3% der Schweizer Gesamtfläche. Damit haben sich die Gletscherflächen in der Schweiz seit 1850 nahezu halbiert. Bezogen auf das Jahr 1973 liegt der Gesamtflächenverlust bei 27,7 % oder 0,75%/Jahr. Die Anzahl der Gletscher ging von 2.155 im Jahr 1973 auf 1.420 im Jahr 2010 zurück, damit waren 735 Gletscher (34%) komplett verschwunden.

Um diese Entwicklung differenzierter zu betrachten, ist in Tab. 4.8-1 für verschiedene Größenklassen ein

Tab. 4.8-1: Zeitliche Änderung von Anzahl (oben) und Fläche (unten) für 6 Größenklassen zwischen 1973 und 2010 (aus FISCHER et al. 2014, ergänzt).

Größenklasse (km²)	Anzahl 1973	%	Anzahl 2010	%	Differenz 1973-2010	Anteil %
<0,1	1058	49,10	770	54,23	-288	-39,18
0,1–0,5	715	33,18	396	27,89	-319	-43,40
0,5–1,0	162	7,52	91	6,41	-71	-9,66
1,0–5,0	167	7,75	118	8,31	-49	-6,67
5,0–10,0	33	1,53	29	2,04	-4	-0,54
>10,0	20	0,93	16	1,13	-4	-0,54
Gesamt	2155	100,00	1420	100,0	-735	-100,0
Größenklasse (km²)	Fläche km² 1973	%	Fläche km² 2010	%	Differenz km² 1973-2010	Anteil %
<0,1	42,3	3,24	25,3	2,68	-17,0	-4,6
0,1–0,5	162,1	12,40	93,0	9,85	-69,1	-19,06
0,5–1,0	110,3	8,44	65,4	6,93	-44,9	-12,38
1,0–5,0	321,6	24,61	225,3	23,86	-96,3	-26,56
5,0–10,0	233,5	17,87	196,7	20,83	-36,8	-10,15
>10,0	437,1	33,45	338,6	35,86	-98,5	-27,16
Gesamt	1306,9	100,0	944,3	100,00	-362,6	-100,0

Vergleich von Gletscheranzahl und Gletschergröße für die Jahre 1973 und 2010 dargestellt. Die Tabelle zeigt, dass die stärkste Änderung in der Anzahl der Gletscher mit 39,2% bzw. 43,4% in den beiden kleinsten Größenklassen auftritt. Am geringsten sind die Änderungen für die beiden größten Größenklassen, nämlich weniger als 1%. Die Anzahl der kleinen Gletscher ($<0,5 \text{ km}^2$) sank von 1.773 im Jahr 1973 auf 1.166 im Jahr 2010. Die prozentuale Größenklassenverteilung hat sich seit 1973 nur geringfügig geändert. Kleine Gletscher ($<0,5 \text{ km}^2$) dominieren mit 82,5% immer noch in Bezug auf die Gesamtzahl. Die mittleren und großen Gletscher ($>1 \text{ km}^2$) machten 1973 76% und 2010 81% der vergletscherten Fläche aus, hier fand eine Umverteilung innerhalb der Größenklassen statt.

Abb. 4.8-3 zeigt am Beispiel des größten Alpengletschers, des Grossen Aletsch ($78,4 \text{ km}^2$ Fläche im Jahr 2010, 24 km Länge) am Südrand des Alpenhaupt-

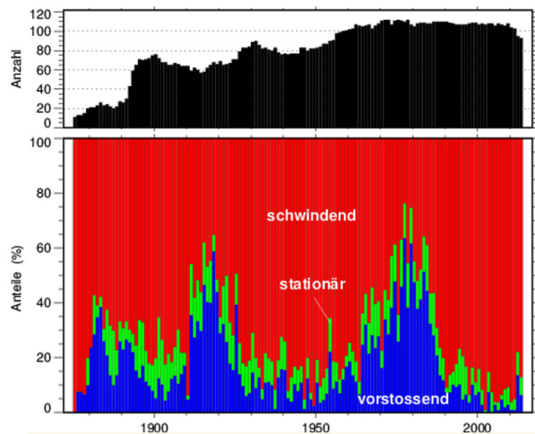


Abb. 4.8-2: Oben: Anzahl der Gletscher mit Messung der Längenänderung. Unten: Anteil der vorstossenden (blau), stationären (grün) und zurückgehenden (rot) Gletscher für den Zeitraum 1877-2014 (Gletscherberichte (1881-2015)).

kammes, das Einsinken der Zunge zwischen 1988 und 2009, also in nur rund zwei Jahrzehnten. Die Abbildung zeigt auch deutlich den Eisverlust seit der Mitte des 19. Jahrhunderts, der sich gut durch das Freiwerden des Felsbettes und die dadurch hellere Färbung der Randmoräne im mittleren Bereich der Gletscherzunge abzeichnet.

Massenbilanzen ausgewählter Gletscher

Um das individuelle Verhalten einzelner Gletscher zu zeigen, sind in Abb. 4.8-4 die kumulativen Massenbilanzreihen dreier ausgewählter Gletscher dargestellt. Der Basödino-Gletscher (Fläche: $2,3 \text{ km}^2$, Länge: 1,5 km, Aufnahme im Jahr 2014) liegt ebenso wie der Griesgletscher ($6,23 \text{ km}^2$, 5,7 km, 2014) in der südlichen Schweiz, der Silvrettagletscher ($3,35 \text{ km}^2$, 3,3 km, 2014) befindet sich am Nordoststrand an der österreichischen Grenze (vgl. Karte in der Einfügung). Alle drei Gletscher fallen in die Größenklasse mit 1 bis 10 km^2 Fläche, ihre Massenbilanz wurde mit der glaziolo-

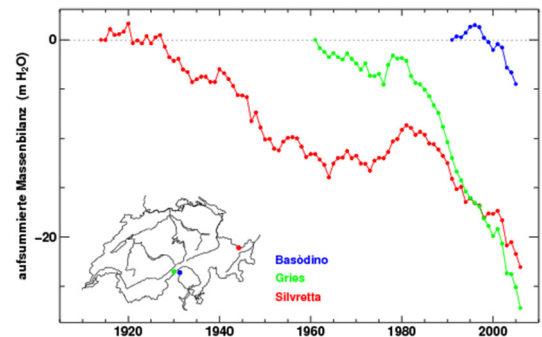


Abb. 4.8-4: Kumulative Massenbilanz von drei Schweizer Gletschern: Silvretta (rote Kurve), Gries (grüne Kurve) und Basödino (blaue Kurve).



Aletschgletscher 1988



Aletschgletscher 2009

Abb. 4.8-3: Aletschgletscher. Links: 1988. Rechts: 2009 (Foto: Hinrich Bäsemann).

gischen Methode bestimmt (vgl. Escher-Vetter Kap. 4.7 in diesem Band).

Die Serie aus der Silvretta zeigt sehr klar den langfristigen Trend, da sie schon in den 1910er Jahren beginnt. Trotz zwischenzeitlicher Massengewinne beläuft sich der Gesamtverlust auf 26 m Wasseräquivalent seit Anfang der Messungen; das heißt, dass eine Eismasse von rund 30 m Höhe abgeschmolzen ist! Noch extremer ist der Verlauf beim Griesgletscher. Obwohl die Messungen erst um 1960 begannen, hat er in diesen 45 Jahren 35 m Wasseräquivalent oder fast 40 m Eismasse im Mittel über die ganze Gletscherfläche verloren und zeigt damit eine noch größere Schwundtendenz als der Silvrettagletscher. Und selbst die kurze Reihe des Basòdino-Gletschers spiegelt diese Tendenz klar wider.

Insbesondere beim Silvrettagletscher erkennt man auch sehr gut die Phase mit Massengewinnen, wie sie schon in *Abb. 4.8-2* unten am Beispiel der Längenänderungen angesprochen wurde. Jede Änderung der Zungenlage und damit der Länge eines Gletschers ist als dynamische Anpassung der Gletscher auf den klimatischen Antrieb und die daraus resultierende Massenbilanz zu sehen, hängt aber stark von Größe und Geometrie des Gletschers ab. So reagiert ein Gletscher mit etwa 1 bis 3 km² Fläche wesentlich schneller auf Änderungen im Klimaablauf als etwa der Aletschgletscher mit einer Gesamtlänge von über 20 km.

Ausblick

Die Gletscher der Schweiz gehören zu den am besten beobachteten Eisflächen der Erde. Seit mehr als einem Jahrhundert werden ihre Änderungen mit verschiedenen Methoden kontinuierlich festgestellt, sie bilden damit eine zuverlässige Basis für Klimaanalysen. Mit dem beobachteten Rückgang liegen sie seit Jahrzehnten voll im (negativen) Trend der Alpengletscher, jedoch wird zumindest der Große Aletschgletscher das 21. Jahrhundert mit großer Wahrscheinlichkeit noch als zusammenhängende Eismasse überdauern.

Literatur

BAUDER, A. (2015): The Swiss Glaciers 2009/10 and 2010/11. Glaciological Report (Glacier) No. 131/132. Publication of the Cryospheric Commission (EKK) of the Swiss Academy of Sci-

- ences (SCNAT). c/o Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW) at the Swiss Federal Institute of Technology Zürich (ETH Zürich). <http://glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers/>.
- FARINOTTI, D., HUSS, M., BAUDER, A. & M. FUNK (2009): An estimate of the glacier ice volume in the Swiss Alps. *Global and Planetary Change*, 68: 225-231.
- FISCHER, M., HUSS, M., BARBOUX, CH. & M. HOELZLE (2014): The new Swiss Glacier Inventory SGI2010: relevance of using high-resolution source data in areas dominated by very small glaciers. (Das neue Schweizer Gletscherinventar SGI2010: Relevanz der Verwendung hochauflösender Bilder in durch sehr kleine Gletscher dominierten Gebieten). *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 46 (4): 933-945.
- GLETSCHERBERICHTE (1881-2015): »Die Gletscher der Schweizer Alpen«, Jahrbücher der Expertenkommission für Kryosphärenmessnetze der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT) herausgegeben seit 1964 durch die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich. No. 1-132, (<http://glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers/>).
- HAEBERLI, W. & M. HOELZLE (1995): Application of inventory data for estimating characteristics of and regional climate-change effects on mountain glaciers: a pilot study with the European Alps. *Annals of Glaciology*, 21: 206-212.
- HUSS, M. & A. BAUDER (2009): 20th-century climate change inferred from four long-term point observations of seasonal mass balance. *Annals of Glaciology*, 50(50): 207-214.
- KASSER, P., AELLEN, M. & U. SIEGENTHALER (1986): Clariden. In: Gletscher der Schweizer Alpen, 1977/78 und 1978/79, volume 99/100 of Glaziologisches Jahrbuch der Gletscherkommission SNG. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, 142-148.
- IVY-OCHS, S., KERSCHNER, H., MAISCH, M., CHRISTL, M., KUBIK, P. W. & C. SCHLÜCHTER (2009): Latest Pleistocene and Holocene glacier variations in the European Alps. *Quaternary Science Reviews*, 28: 2137-2149, doi:10.1016/j.quascirev.2009.03.009.
- MAISCH, M., WIPF, A., DENNELER, B., BATTAGLIA, J. & C. BENZ (2000): Die Gletscher der Schweizer Alpen: Gletscherhochstand 1850, Aktuelle Vergletscherung, Gletscherschwundsznarien. Schlussbericht NFP 31. Second edition. Zurich: vdf Hochschulverlag ETH Zurich, 373 pp.
- MÜLLER, H. & G. KAPPENBERGER (1991): Claridenfirn-Messungen 1914-1984. Technical Report 40, Zürcher Geographische Schriften, Geographisches Institut der ETH Zürich, 79 pp.
- PAUL, F. (2004): The new Swiss glacier inventory 2000: Application of Remote Sensing and GIS. Ph. D. thesis, Department of Geography, University of Zurich, 198 pp.
- POTT, R., BAUEROCHSE, A. & O. KATENHUSEN (1998): Auswirkungen von Klimaschwankungen auf die obere Waldgrenze am Beispiel der Alpen. In: Lozán, J. Grassl H. & P. Hupfer. Das Klima des 21. Jahrhunderts. Wissenschaftliche Auswertungen – Geo-Magazin, Hamburg. 72-77.

Kontakt:

Dr. Heidi Escher-Vetter
Bayerische Akademie der Wissenschaften
heidi@escher-vetter.de

Escher-Vetter, H. & J. L. Lozán (2015): *Veränderungen der Schweizer Gletscher*. In: Lozán, J. L., H. Grassl, D. Kasang, D. Notz & H. Escher-Vetter (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Das Eis der Erde*. pp. 155-158. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.eis-der-erde.23