

Die Gletscher der Schweizer Alpen im Jahr 1997/98

■ Wissenschaft und Bergwelt
 ■ Scienza e mondo alpino
 ■ Science et montagne

Martin Hoelzle, Daniel Vonder Mühl¹ und Max Maisch²

28

Kurzfassung des 119. Berichts der Glaziologischen Kommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (GK/SANW) und der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW/ETHZ)

Einleitung

Repräsentativität des Schweizerischen Gletschermessnetzes

Beim Schweizerischen Gletschermessnetz stellt sich die berechnete Frage nach der Repräsentativität der vorhandenen Stichprobe (>100) zur Gesamtmenge (>2000). Bei der Gründung dieses Messnetzes wurde darauf nicht besonders Wert gelegt. Man konzentrierte sich aus verständlichen Gründen auf die gut zugänglichen Gletscher. Diese gehören zu den mittleren und grossen Gletschern der Schweiz, was bedeutet, dass diese Gletscher in unserem Messnetz übervertreten sind. Die Frage nach der Repräsentativität der vorhandenen Stichprobe

¹ M. Hoelzle, D. Vonder Mühl: Glaziologische Kommission der SANW und Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich

² M. Maisch: Glaziologische Kommission der SANW und Geographisches Institut der Universität Zürich

ist nicht einfach zu beantworten. Ist diese Auswahl repräsentativ für das Volumen, die Fläche oder die Länge aller Gletscher? Betrachtet man nur das Volumen, stellt man fest, dass die fünf grössten Gletscher des Messnetzes ca. 40% aller Schweizer Gletscher ausmachen. Auf die Charakteristik der Messnetzgletscher wird im Anhang eingegangen.

Witterung und Klima

Das hydrologische Jahr 1998 im Überblick

Weltweit hat das Jahr 1998 den Wärmerekord des Vorjahrs übertroffen und geht als das wärmste seit 1860 in die Statistik ein. Die Temperaturen lagen im Schnitt um 0,7 Grad höher als Ende des 19. Jahrhunderts. Zudem waren die letzten 20 Jahre ununterbrochen überdurchschnittlich warm.

In der Schweiz war es in der Berichtsperiode, die sich über das hydrologische Jahr von Oktober 1997 bis September 1998 erstreckt, insgesamt ebenfalls deutlich zu warm bei durchschnittlichen Niederschlägen. Die Witterung war somit in den beiden Berichtsperioden 1996/97 und 1997/98 sehr ähnlich.

Der Glacier du Grand Désert ging zwischen 1989 und 1998 um 139 m zurück und ist heute um rund 1400 m kürzer als zu Beginn der Messreihe im Jahr 1983.



a) 1989



b) 1991

Titel der monatlichen Witterungsberichte der SMA 10.97–9.98

1997	
Oktober	Übergang vom Spätsommer in den Frühwinter
November	Föhnsturm am 6. – im übrigen ruhiger Spätherbst
Dezember	Sehr wechselhaft mit Rekordwärme am Weihnachtstag
Jahr	Ausserordentlich warm, sehr sonnig und überwiegend niederschlagsarm
1998	
Januar	Mild und sonnig – ein bisschen Winter im letzten Monatsdrittel
Februar	Aussergewöhnlich sonnig und in den Bergen extrem mild
März	Im Süden sonnig und sehr trocken, im Norden unbeständig
April	Nass und sonnenarm – spätwinterliches Osterwetter
Mai	Warm, sonnig und sehr trocken – besonders im Flachland
Juni	Insgesamt zu warm, trotz ausgeprägter Schafskälte
Juli	Wechselhaft, überall zu warm und meist zu trocken
August	Sonnig, warm und trocken – Wassermangel im Mittelland
September	Sehr wenig Sonne, deutlich zu nass und etwa normale Temperaturen
Jahr	Warm und überwiegend sonnig – geringe Unweterschäden

Quelle: SMA-MeteoSchweiz

Temperatur

Wie im Vorjahr waren wiederum die meisten Monate deutlich zu warm (vgl. «monatliche Witterungsberichte»). Bereits Oktober, November und Dezember brachten Wärmeüberschüsse, und von Januar bis August war einzig der April kälter als normal. Die milden Hochdrucklagen führten dazu, dass der Februar 1998 der wärmste des Jahrhunderts gewesen sein dürfte. Im August stieg die Nullgrad-Grenze mehrere Tage bis gegen 4500 m an. In den Monaten Mai bis September, die für die Schmelze die wichtigste Zeitperiode darstellen, verzeichneten die meisten Regionen mit Gletschern einen geringeren Temperaturüberschuss als das Mittelland und das Südtessin (vgl. Fig. 1a, S. 32).

Dies ändert indessen nichts daran, dass es in dieser Zeit in den Bergen gut ein Grad wärmer war als im langjährigen Durchschnitt.

Niederschlag

Im Berichtsjahr entsprachen die Niederschlagsmengen ungefähr einem Normaljahr. Wie Figur 1b zeigt, weichen lediglich die zu trockenen Vispertäler und das zu nasse Südtessin mehr als 20% vom Normalwert ab. Zu nass waren insbesondere Dezember und September, zu trocken fielen die Monate Oktober, Februar, Mai und August aus. Das niederschlagsarme Frühjahr verursachte im Süden Waldbrandgefahr, die dann durch die April-Niederschläge gebannt wurde.

Sonnenschein

Die Sonnenscheindauer entsprach ungefähr dem Jahresverlauf der Temperaturen: Die zu warmen Monate brachten überdurchschnittliche Werte, während die Schlechtwettermonate April und September sonnenarm ausfielen.

Massenhaushalt

Der Sommer 1998 kann hinsichtlich der Massenverluste der Gletscher als aussergewöhnlich bezeichnet werden. Gemäss den Angaben der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt war 1998 in Zürich das drittwärmste Jahr seit 1864. Vor allem die ausserordentlichen Wärmeperioden in den Monaten Juli und August führten dazu, dass bei den meisten Gletschern, auf denen Massenhaushaltsstudien erhoben werden, zum Teil Rekordschmelzwerte festgestellt wurden. Auf dem Silvrettagletscher beispielsweise wurde eine Massenbilanz von $-1,53$ m gemessen, die als Rekordwert in die Anna-



Fotos: Triège, Forêtier, Nendaz-Isrables

c) 1997



a) 1961



b) 1968

Der Chelengletscher (Uri) in verschiedenen Jahren. Der Verlauf der summierten Längenänderungen ist in Fig. 4b dargestellt. Zwischen 1969 und 1987 stieß

der Chelengletscher um insgesamt 259 m vor. Seit-her hat er sich wieder um 200 m zurückgezogen.

e) 1987



f) 1991





c) 1979



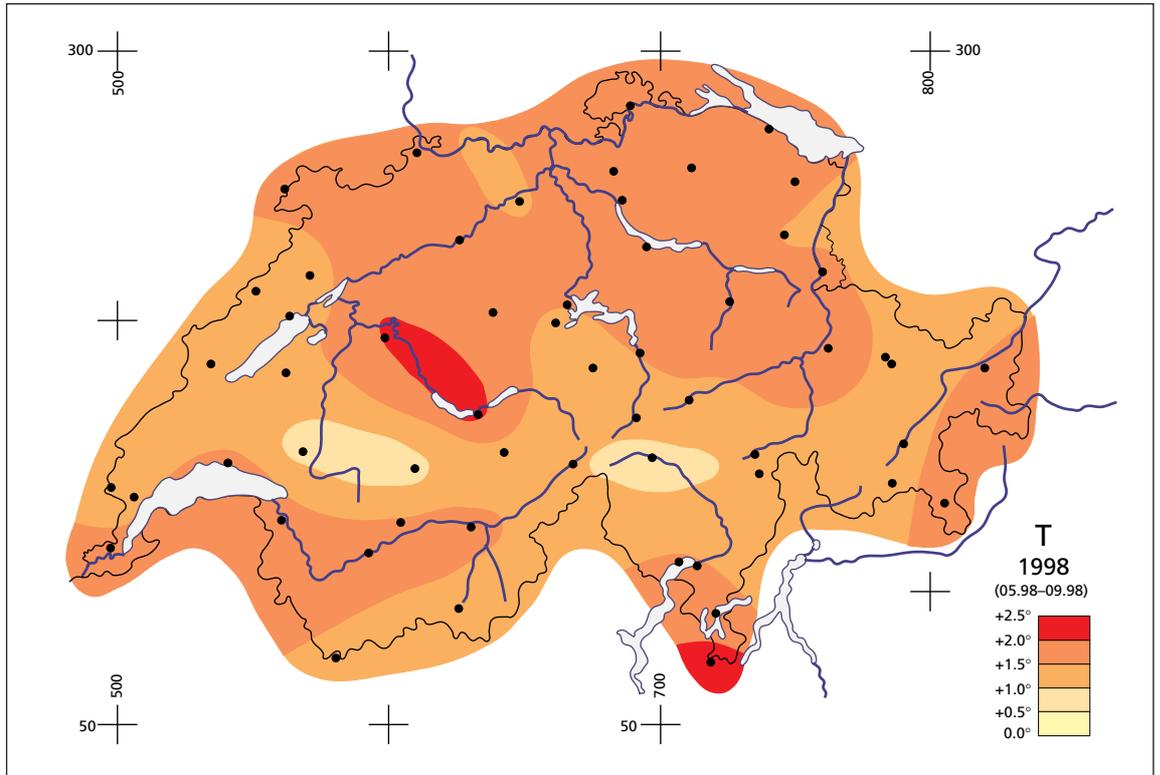
Foto: Amt für Forst und Jagd, Abt. Lawinenschutz, Uri

d) 1982



g) 1998

Fig 1a und 1b
Jahresniederschlag 1997/98
und Sommertemperatur
1998: Abweichung vom
Normalwert 1901 bis 1960
(Quelle: SMA-Meteo-
Schweiz)



Figur 1a
Sommertemperatur 1998
(Mittelwert 1.5.98 bis
30.9.98): Abweichung in
Grad Celsius

len der Messungen seit dem Jahr 1959 eingehen wird (vgl. Fig. 2, S. 33). Auch der Griesgletscher beim Nufenenpass wies im Berichtsjahr kein Akkumulationsgebiet mehr auf. Der ganze Gletscher stand bis hinauf zum Gipfel des Blinnenhorns unter dem Einfluss starker Schmelze. Das Resultat steht mit $-1,66$ m an zweiter Stelle der negativen Massenbilanz und liegt damit nur wenig hinter dem Rekordwert von $-1,74$ m aus dem Jahre 1990. Die Massenbilanz der Aletschgletscher wies hingegen keinen Rekordwert auf. Die mit der hydrologischen Methode bestimmte Massenbilanz lag im negativen Bereich mit einem Wert von $-0,83$ m.

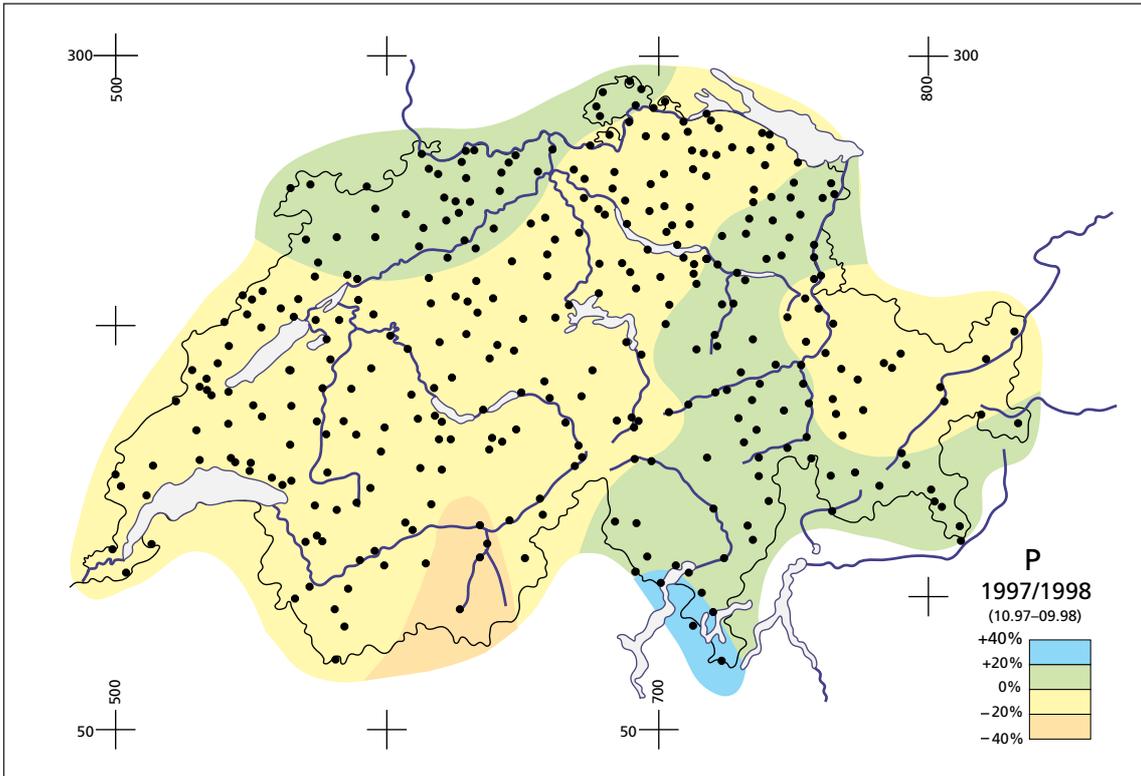
Weitere Messungen weisen jedoch darauf hin, dass es sich um ein Extremjahr handelte. Ein Beispiel ist der Glacier de Giétro im Val de Bagnes, wo seit 1966 an einigen Pegeln im Auftrag der Forces Motrices de Mauvoisin SA die Akkumulation (Massengewinn) und die Ablation (Massenverlust) gemessen werden. Am obersten Messstandort auf 3300 m ü. M., wo in normalen Jahren Schneewachstum herrscht, gab es im Jahr 1998 mehr als einen Meter Firn- und Eisschmelze. Es war wohl dem regnerischen, kalten September zu verdanken, dass die Massenverluste der Schweizer Gletscher nicht noch höher ausfielen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das hydrologische Jahr 1998 als eines der negativsten Massenhaushaltsjahre seit Beginn der Messungen für die Schweizer Gletscher in die Geschichte eingehen wird.

Längenänderung

Rückzugsbewegung ausgeprägt

Auch im Herbst 1998 bemühten sich die Gletscherbeobachter im Rahmen der alljährlichen Erhebungen durch die Glaziologische Kommission der SANW ihre Längenänderungsmessungen an den Gletschern des schweizerischen Messnetzes durchzuführen. Trotz der sehr misslichen Witterung konnten 84 Gletscher eingemessen werden. Die Messungen ergaben, dass sich 81 Gletscher seit dem letzten Jahr weiter verkürzten. Nur noch gerade ein Gletscher war vorgestossen und zwei blieben stationär (vgl. Fig. 3, S. 34). Den Negativrekord hielt der Allalingsgletscher im Saastal mit -140 m. Der einzige vorstossende Gletscher war der Mont Durand im Val de Bagnes im Unterwallis mit ca. $+7$ m.

An 12 Gletschern wird die jährliche Längenänderung mit Hilfe von Luftbildern erfasst, nämlich: Rhone, Mutt, Gries, Grosser Aletsch, Schwarzberg, Allalin, Kessjen, Findelen, Giétro, Corbassière, Oberaar und Unteraar. Diese Daten werden an einem

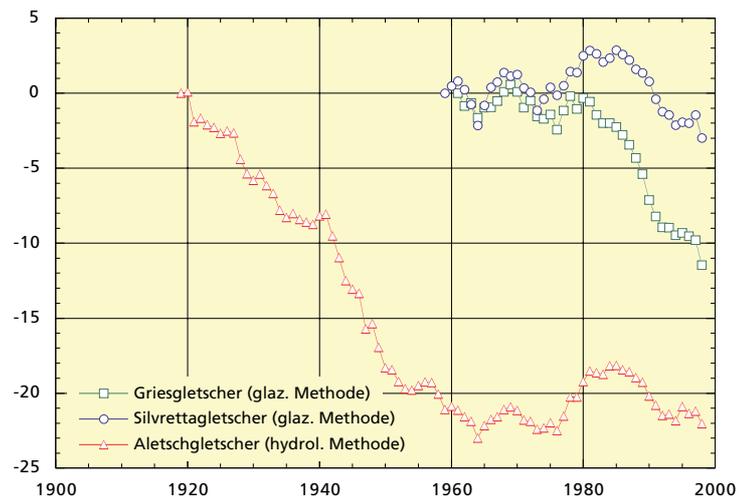


Figur 1b
Jahresniederschlag 1997/98
 (Summe 1.10.1997 bis
 30.9.1998): Abweichung in
 Prozent

speziellen Auswertgerät, dem analytischen Plotter, bearbeitet. Aufgenommen werden die Luftbilder durch die Vermessungsdirektion oder die Eidg. Landestopographie. Infolge der schlechten Witterung im Herbst 1998 konnten von diesen 12 Gletschern nur gerade vier erfasst werden. Die so entstehenden Messlücken in den über hundertjährigen Zeitreihen beeinträchtigen die Interpretation in unterschiedlichem Masse: Grosse und flache Gletscher wie zum Beispiel der Grosse Aletsch reagieren mit ihrer Zunge sehr langsam auf klimatische Änderungen, so dass eine Messlücke von einem oder zwei Jahren noch keinen nachteiligen Einfluss auf die Interpretation der gesamten Zeitreihe ausübt (vgl. Fig. 4d, S. 37). Diese Gletscher haben den Vorteil, dass ihre Veränderungen ein Spiegelbild der langfristigen Klimaentwicklung darstellen. Bei sehr kleinen Gletschern wie zum Beispiel beim Pizolgletscher im Kanton St. Gallen, der Jahr für Jahr sehr grossen Schwankungen unterworfen ist (vgl. Fig. 4a, S. 37), wirken sich hingegen schon kleinere Lücken bei der Interpretation der Zeitreihen aus. Ihr Vorteil liegt darin, dass sie kurzfristige Schwankungen des Witterungsverlaufs abzubilden vermögen.

Dank

Die Glaziologische Kommission der SANW ist bei der Beobachtung der Gletscher in der 119. Messperiode wiederum tatkräftig unterstützt worden. Einen besonderen Dank verdienen die Helfer, auf deren regelmässiges Mitwirken sie angewiesen ist: alle direkt oder indirekt beteiligten Personen bei den Forstdiensten der Gebirgskantone, bei den Kraftwerken Ägina, Mattmark, Mauvoisin und



Figur 2
Jährlich aufsummierte
Massenänderung (in m)
der Massenhaushaltglet-
scher Aletsch, Gries und
Silvretta

Oberhasli, im Vermessungsbüro Flotron, im Bundesamt für Landestopographie, an der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, in der Landeshydrologie und -geologie, am Schweizerischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung, an den Geographischen Instituten der ETH und der Universität Zürich sowie an der Abteilung Glaziologie und der Direktion der VAW an der ETHZ. Insbesondere dankt sie allen privat mitwirkenden Personen, sei es bei den Aufnahmen im Gelände oder bei der Daten- und Textbearbeitung im Büro.

Anhang: Zur Charakteristik und zum Schwund der Messnetzgletscher seit 1850

Vom Hochstand zu Schwund-Szenarien

Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes 31 (*Klimaänderungen und Naturkatastrophen*) war ein an der Universität Zürich durchgeführtes Teilprojekt den Gletschern der Schweizer Alpen und ihrer Veränderung seit Mitte des 19. Jahrhunderts (Hochstand 1850) gewidmet. In diesem Projekt wurden in minutiöser Kleinarbeit sämtliche Gletscher und Eisflächen nach einheitlicher Methodik parametrisiert. Es wurden drei glazialhistorisch wichtige «Zeitfenster» bearbeitet und inventarisiert: Die Hochstandssituation 1850 («Vergangenheit»), die im Gletscherinventar 1973 (Müller et al., 1976) dokumentierte Situation («Gegenwart») und die Berechnung verschiedener Schwund-Szenarien für das 21. Jahrhundert («Zukunft»). Die Resultate dieser von mehreren Mitarbeitern getragenen Studie

sind soeben als Schlussbericht veröffentlicht worden (Maisch et al., 1999). Im Zuge dieser Untersuchung sind auch die 121 Gletscher des schweizerischen Beobachtungsnetzes mitsamt ihren glaziologischen Kenndaten erfasst worden. Dies erlaubt nachfolgend eine kurze Übersicht zur Gesamtvergletscherung und ihrer Veränderung seit 1850 sowie eine Sonderbetrachtung der Messnetzgletscher.

Markanter Rückgang seit 1850

An den zurückgelassenen Moränenwällen und den schuttreichen Vorfeldern lässt sich eindrücklich erkennen und nachvollziehen, dass die Gletscher der Schweizer Alpen seit der letzten Hochstandsperiode zum Teil ganz markant zurückgewichen sind. Gesamthaft betrachtet hat der beobachtete Temperaturanstieg in diesem Zeitraum die Vergletscherungsfläche der Schweizer Alpen von 1800 km² auf 1300 km² reduziert. Dadurch sind rund 500 km² oder 27,2% der ursprünglichen Ausdehnung verlorengegangen. Bezogen auf die Fläche der Schweiz (41 284,6 km²) hat sich damit der vergletscherte Anteil von 4,4% auf 3,1% reduziert. «Positiv» ausgedrückt sind durch den «Jahrhundertschwund» der Gletscher bzw. durch das komplementäre Anwachsen der Vorfelder eisfreie Neulandgebiete entstanden, die in ihrem Ausmass immerhin etwa der Fläche des Kantons Obwalden (490,6 km²) entsprechen.

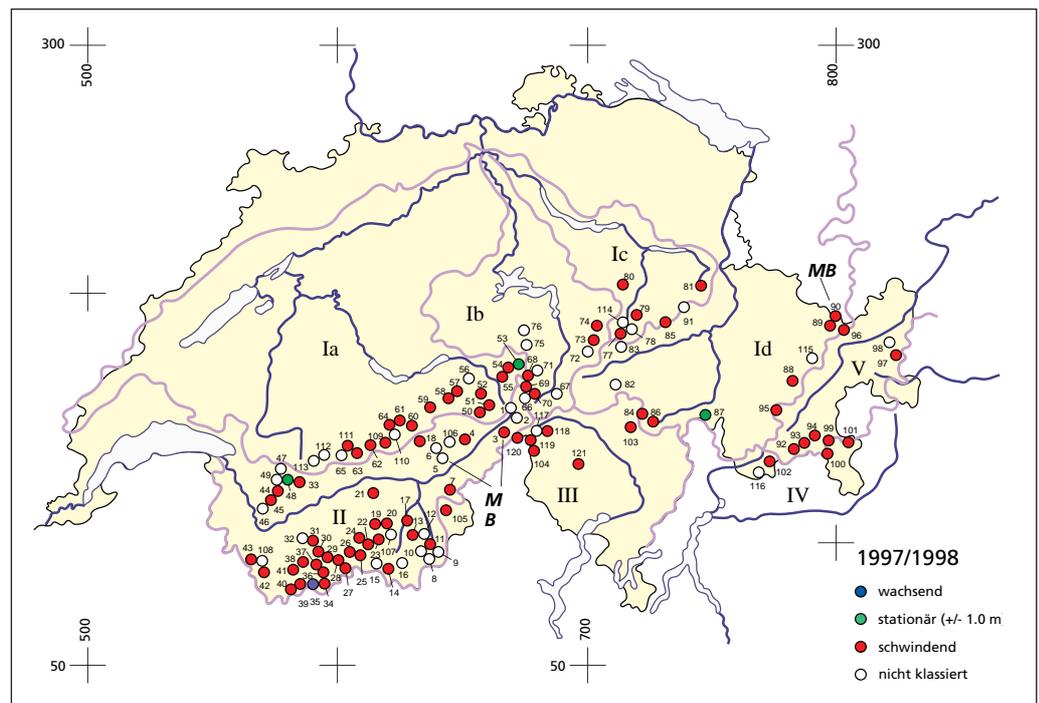
Zungenförmige Talgletscher eher selten

Die Schweizer Alpen sind wegen der differenzierten Topographie des Gebirges und der regional stark unterschiedlichen Niederschlagsverhältnisse



Foto: Regula Frauenfelder, UNI Zürich

Die Stabilität von Hängegletschern wurde im Rahmen des nationalen Forschungsprogramms NFP31 untersucht. Viele sind am Rand angefroren, was ihre Stabilität zusätzlich erhöht. Zu sehen ist hier ein Beispiel eines Hängegletschers am Studerhorn auf gut 3000 m, im Vordergrund der Finsteraargletscher.



Figur 3
Längenänderung der Gletscher in den Schweizer Alpen 1998 (qualitativ dargestellt)

Tabelle 1
Gletscher der Schweizer Alpen – Längenänderung 1997/1998

Nr.	Gletscher	Längenänderung [m]	Nr.	Gletscher	Längenänderung [m]	Nr.	Gletscher	Längenänderung [m]
Rhonegebiet (II)			46	Martinets	n	79	Sulz	- 9
1	Rhone	n	47	Sex Rouge	?	80	Glärnisch	- 18,6
2	Mutt	n	48	Prapio	st	81	Pizol	- 9,7
3	Gries	- 22,4	49	Pierredar	n	114	Plattalva	n
4	Fiescher	- 66,3	106	Mittelaletsch	n	Rheingebiet (Id)		
5	Grosser Aletsch	n	107	Bis	n	82	Lavaz	n
6	Oberaletsch	n	108	Orny	n	83	Punteglias	n
7	Kaltwasser	- 27,3	Aaregebiet (Ia)			84	Lenta	- 18
8	Tälliboden	n	50	Oberaar	- 32,9	85	Vorab	- 14,9
9	Ofental	n	51	Unteraar	- 94,0	86	Paradies	- 4,9
10	Schwarzberg	n	52	Gauli	- 13	87	Suretta	0
11	Allalin	- 140	53	Stein	- 1	88	Porchabella	- 16,4
12	Kessjen	n	54	Steinlimmi	- 27	89	Verstankla	- 8,5
13	Fee (Nord)	- 111,1	55	Trift (Gadmen)	- x	90	Silvretta	- 12,3
14	Gorner	- 43,4	56	Rosenlauri	n	91	Sardona	sn
15	Zmutt	n	57	Oberer Grindelwald	- 15 ca.	115	Scaletta	n
16	Findelen	n	58	Unterer Grindelwald	- x	Inngebiet (V)		
17	Ried	- 12,2	59	Eiger	- 23,2	92	Roseg	- 41,8
18	Lang	- 2	60	Tschingel	- 4,3	93	Tschierva	- 27,7
19	Turtmann	- 8,5	61	Gamchi	- 13,9	94	Morteratsch	- 6,5
20	Brunegg (Turtm. E)	- 12,5	62	Schwarz	- 7,7	95	Calderas	- 25,9
21	Bella Tola	- 8	63	Lämmern	- 16,3	96	Tiatscha	- 13
22	Zinal	- 30	64	Blümlisalp	- 16,4	97	Sesvenna	- 64
23	Moming	- 45	65	Rätzli	n	98	Lischana	n
24	Moiry	- 14	109	Alpetli	- 15,4	Addagebiet (IV)		
25	Ferpècle	- 34	110	Lötschberg	n	99	Cambrena	- 6
26	Mont Miné	- 15	111	Ammerten	- 3,3	100	Palü	- 11,1
27	Arolla (Mt. Collon)	- 5	112	Dungel	n	101	Paradisino (Campo)	- 10,5 ²
28	Tsidjiore Nouve	- 13	113	Gelten	n	102	Forno	- 19,3
29	Cheillon	- 11,6	Reussgebiet (Ib)			116	Albigna	n
30	En Darrey	- 8	66	Tiefen	n	Tessingebiet (III)		
31	Grand Désert	- 29,6	67	Sankt Anna	n	103	Bresciana	- 28,6
32	Mont Fort (Tortin)	n	68	Kehlen	- 42,4	104	Basodino	- 8,7
33	Tsanfleuron	- 15	69	Rotfirm (Nord)	- 12,9	105	Rosboden	- 2,1
34	Otemma	- 21,5	70	Damma	- 8,3	117	Valleggia	n
35	Mont Durand	+ 6,6	71	Wallenbur	n	118	Val Torta	- 7,5
36	Breney	- 30,8	72	Brunni	n	119	Cavagnoli	- 22,5
37	Giéto	- 11,8	73	Hüfi	- 26,2	120	Corno	- 7
38	Corbassière	- 11,9	74	Griess	- 11,8	121	Crosolina	- 3
39	Valsorey	- 19	75	Firnalpeli (Ost)	n			
40	Tseudet	- 14	76	Griessen	n			
41	Boveyre	- 37 ²	Linthgebiet (Ic)					
42	Saleina	- 55	77	Biferten	- 9,6			
43	Trient	- 60	78	Limmern	n			
44	Paneyrosse	- 3,1						
45	Grand Plan Névé	- 3,5						

Abkürzungen

+ wachsend
 st stationär
 - schwindend
 ca. ungefähre Wert

x Betrag nicht bestimmt
 sn eingeschneit
 ? Ergebnis unsicher (Luftbild)
 n nicht beobachtet

Bemerkungen

Gilt die Angabe für eine mehrjährige Zeitspanne, ist die Zahl der Jahre angezeigt: -37² = Schwund um 37 m in 2 Jahren.

naturgemäss sehr ungleichmässig vergletschert. Dies trifft sowohl auf die geographische Anordnung wie auch auf die unausgeglichenen Grössenverhältnisse der verschiedenen Gletscher zu. Entgegen der allgemeinen Vorstellung ist dabei nicht der klassische «Schulbuchtyp» des zungenförmigen Talgletschers am häufigsten. Davon gibt es gemäss Klassierung der 2164 registrierten Einzelgletscher nur gerade 53 Exemplare (2,4%). Es folgen – mit absteigender Flächengrösse – die Gebirgsgletscher

(n = 374 oder 17,3%), die Gletscherflecken (n = 550 oder 25,4%) und schliesslich die zahlreichsten, jedoch äusserst winzigen sogenannten Firnflecken (n = 1187 oder 54,9%). Die eher seltenen Talgletscher beanspruchen aber über die Hälfte der gesamtschweizerischen Gletscherfläche (51,2% von rund 1300 km²) und enthalten Dreiviertel (75,8%) des insgesamt auf 74 km³ geschätzten Eisvolumens.

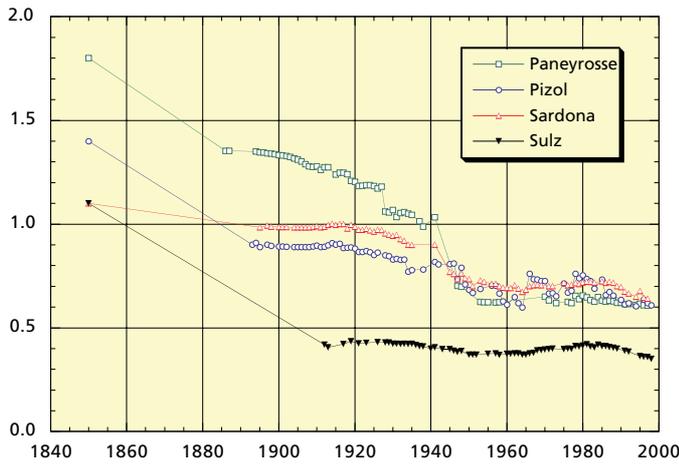
Tabelle 2

Rangliste der Messnetzgletscher (Abfolge gemäss Längenwert «2000») mit Angabe weiterer Längen- und Flächenparameter

Quelle: Gletscherdatenbank CH-INVGLAZ (1850 und 1973) sowie Jahresberichte der Glaziologischen Kommission (Zeitraum 1973–1998).

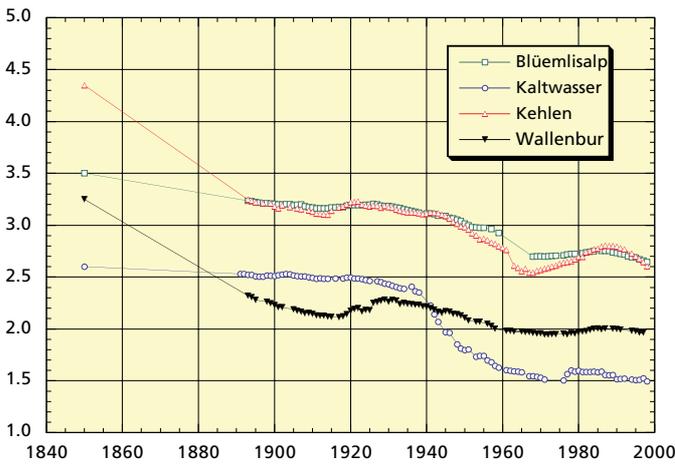
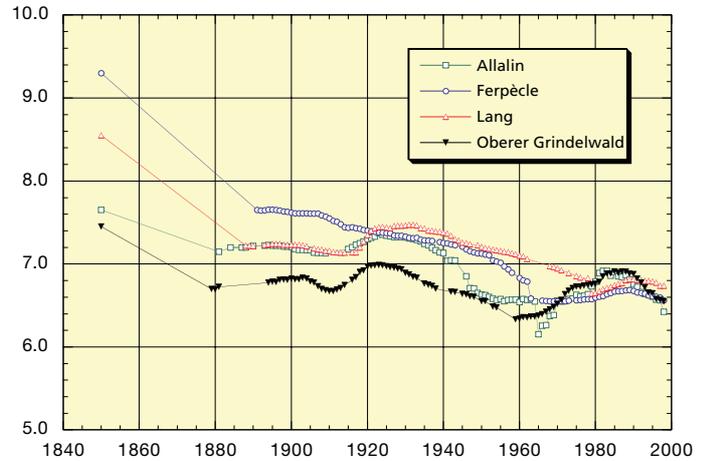
Rang	Name	Nr.	Länge 1850 [km]	Länge 1973 [km]	Länge 2000 [km]	Fläche 1973 [km ²]	Rang	Name	Nr.	Länge 1850 [km]	Länge 1973 [km]	Länge 2000 [km]	Fläche 1973 [km ²]
1.	Grosser Aletsch	5	26,5	23,9	23,3	96,1	62.	Gamchi	61	3,5	2,8	2,8	1,8
2.	Fiescher	4	17,1	15,3	15,1	34,2	63.	Steinlimmi	54	4,2	2,8	2,7	2,3
3.	Gorner	14	15,9	13,5	12,9	59,7	64.	Boveyre	41	3,8	2,6	2,6	2,1
4.	Unteraar	51	14,5	12,9	12,4	29,5	65.	Kehlen	68	4,3	2,6	2,6	3,2
5.	Corbassière	38	12,9	10,2	10,2	18,3	66.	Blümlisalp	64	3,5	2,7	2,6	3,0
6.	Oberaletsch	6	10,4	9,1	8,9	22,8	67.	Eiger	59	3,5	2,6	2,5	2,1
7.	Unterer Grindelwald	58	9,9	8,3	8,3	20,8	68.	Lämmern	63	4,5	2,6	2,5	4,8
8.	Mont Miné	26	10,2	8,3	8,2	11,0	69.	Damma	70	3,2	2,4	2,5	5,1
9.	Otemma	34	10,6	8,7	8,0	17,5	70.	Ammerten	111	2,8	2,5	2,4	1,2
10.	Rhone	1	9,2	8,0	7,9	17,6	71.	Glärnisch	80	3,5	2,5	2,4	1,7
11.	Findelen	16	10,4	7,8	7,7	17,4	72.	Paradies	86	5,1	3,6	2,3	4,0
12.	Zinal	22	9,2	7,5	7,1	15,4	73.	Lenta	84	3,9	2,6	2,3	1,4
13.	Hüfi	73	9,2	7,1	7,0	13,6	74.	Rotfirn (Nord)	69	3,2	2,1	2,1	1,3
14.	Lang	18	8,6	6,9	6,7	10,1	75.	Porchabella	88	3,4	2,4	2,1	2,6
15.	Alpetli (Kander)	109	9,2	6,8	6,7	13,9	76.	Verstankla	89	2,7	2,1	2,1	1,3
16.	Morteratsch	94	8,9	7,0	6,7	16,4	77.	Wallenbur	71	3,2	1,9	2,1	1,7
17.	Ferpècle	25	9,3	6,6	6,6	9,8	78.	Lötschberg	110	2,8	2,1	2,1	0,9
18.	Oberer Grindelwald	57	7,5	6,7	6,5	9,5	79.	Tiatscha	96	3,5	2,0	2,1	2,1
19.	Zmutt	15	8,6	6,7	6,5	16,9	80.	En Darrey	30	3,1	2,1	2,0	1,9
20.	Saleina	42	7,8	6,5	6,4	8,6	81.	Grand Désert	31	3,6	2,2	1,9	1,9
21.	Allalin	11	7,7	6,5	6,3	9,9	82.	Martinets	46	2,4	1,9	1,9	0,6
22.	Gauli	52	9,2	6,5	6,3	17,7	83.	Dungel	112	2,8	1,9	1,9	1,4
23.	Ried	17	7,5	6,3	5,9	8,2	84.	Cavagnoli	119	2,8	2,0	1,9	1,4
24.	Mont Durand	35	7,2	5,9	5,8	7,6	85.	Cambrena	99	2,7	1,9	1,9	1,8
25.	Trift	55	7,5	5,8	5,7	16,6	86.	Mont Fort (Tortin)	32	2,7	2,1	1,8	1,1
26.	Forno	102	7,8	6,2	5,7	8,7	87.	Vorab	85	3,0	2,0	1,8	2,2
27.	Breney	36	8,0	6,0	5,6	10,0	88.	Kaltwasser	7	2,6	1,6	1,6	1,9
28.	Gries	3	7,6	5,7	5,4	6,2	89.	Calderas	95	2,7	1,8	1,6	1,2
29.	Turtmann	19	6,4	5,3	5,3	12,8	90.	Suretta	87	2,5	1,6	1,5	1,1
30.	Moiry	24	6,2	5,3	5,3	5,8	91.	Lavaz	82	3,3	2,1	1,5	1,8
31.	Fee-Nord	13	5,9	5,0	5,2	7,5	92.	Basodino	104	2,8	1,5	1,5	2,3
32.	Rosenloui	56	5,9	5,2	5,1	6,1	93.	Griess	74	3,2	1,6	1,4	0,9
33.	Mittelaletsch	106	6,7	5,4	5,1	8,3	94.	Plattalva	114	2,1	1,4	1,3	2,1
34.	Brunegg (Turtm.-E)	20	5,8	4,6	5,0	6,7	95.	Scaletta	115	1,8	1,2	1,2	0,7
35.	Tsidjiore Nouve	28	5,3	4,8	5,0	3,2	96.	Punteglias	83	2,2	1,4	1,2	1,0
36.	Rätzli	65	6,7	5,2	4,9	9,1	97.	Giessen	76	2,1	1,2	1,2	1,3
37.	Arolla (Mt. Collon)	27	7,0	4,8	4,8	13,2	98.	Mutt	2	1,8	1,0	1,1	0,6
38.	Oberaar	50	6,8	5,0	4,7	5,8	99.	Sesvenna	97	1,7	1,2	1,1	0,8
39.	Trient	43	6,2	4,9	4,7	6,4	100.	Paradisino (Campo)	101	1,6	1,1	1,1	0,5
40.	Tschierva	93	5,8	4,8	4,7	6,2	101.	Bresciana	103	2,5	1,1	1,0	0,8
41.	Giétro	37	4,8	4,5	4,5	5,9	102.	Paneyrosse	44	1,8	0,9	0,9	0,5
42.	Biferten	77	5,6	4,4	4,4	2,8	103.	Firnalpeli	75	1,1	0,9	0,9	0,9
43.	Roseg	92	6,8	4,9	4,3	8,5	104.	Ofental	9	1,8	0,9	0,9	0,4
44.	Stein	53	5,3	4,2	4,1	6,1	105.	Sex Rouge	47	1,4	0,9	0,9	0,7
45.	Bis	107	4,3	4,0	4,0	4,7	106.	Valleggia	117	1,2	0,9	0,9	0,6
46.	Rossboden	105	4,2	3,9	4,0	1,9	107.	Pierredar	49	1,3	0,8	0,9	0,5
47.	Schwarzberg	10	6,0	3,8	3,8	6,1	108.	Lischana	98	1,3	0,9	0,9	0,2
48.	Palü	100	5,5	3,8	3,8	6,5	109.	Croslina	121	1,3	0,8	0,8	0,3
49.	Schwarz	62	4,6	4,0	3,8	1,6	110.	Kessjen	12	1,5	0,9	0,8	0,6
50.	Tschingel	60	5,8	3,6	3,7	6,2	111.	Corno	120	1,8	0,7	0,8	0,3
51.	Valsorey	39	5,1	3,8	3,6	2,4	112.	Prapio	48	1,0	0,8	0,8	0,3
52.	Albigna	116	5,0	3,7	3,6	3,5	113.	Sankt Anna	67	1,2	0,8	0,7	0,5
53.	Tsanfleuron	33	5,4	3,7	3,5	3,8	114.	Gelten	113	1,1	0,7	0,7	1,2
54.	Cheillon	29	5,3	3,7	3,3	4,6	115.	Tälliboden	8	1,5	0,8	0,7	0,3
55.	Moming	23	4,5	3,6	3,3	6,4	116.	Sardona	91	1,1	0,7	0,6	0,4
56.	Silvretta	90	4,7	3,3	3,2	3,3	117.	Pizol	81	1,4	0,6	0,6	0,2
57.	Limmern	78	4,1	3,1	3,1	2,1	118.	Val Torta	118	0,9	0,6	0,5	0,2
58.	Brunni	72	4,7	3,0	2,9	2,9	119.	Bella Tola	21	1,1	0,6	0,5	0,3
59.	Orny	108	3,3	2,9	2,9	1,6	120.	Sulz	79	1,1	0,4	0,4	0,2
60.	Tiefen	66	3,8	3,0	2,8	3,2	121.	Grand Plan Névé	45	0,9	0,3	0,3	0,2
61.	Tseudet	40	4,2	3,0	2,8	1,7							

4a) Sehr kleine Gletscher mit einer Länge von weniger als 1 km

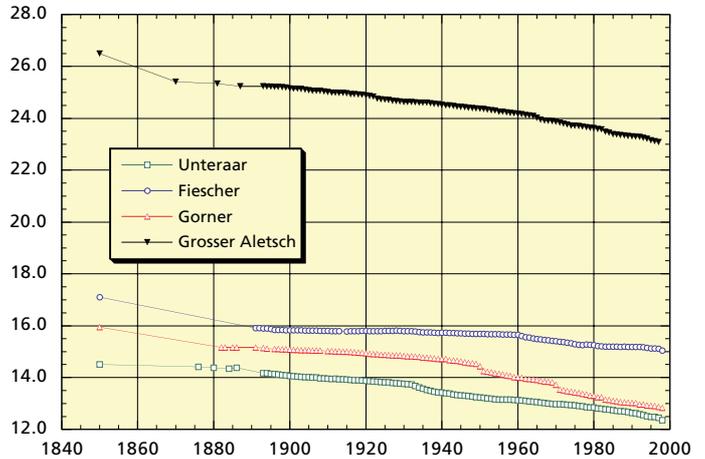


Figur 4a bis 4d
Jährliche Längenänderung (in km) für Gletscher in verschiedenen Längenklassen, ausgehend von der ursprünglichen Gesamtlänge um 1850:

4c) Grössere Gebirgs-gletscher mit einer Länge von 5–10 km



4b) Kleine Gebirgs-gletscher mit einer Länge von 1–5 km



4d) Grosse Talgletscher mit einer Länge von mehr als 10 km

Flächenschwund der «Durchschnittsgletscher»

Flächenmässig wies der schweizerische «Durchschnittsgletscher» zur Zeit der Hochstandsperiode von 1850 noch eine Ausdehnung von rund 1,1 km² auf. Er ist seither um 0,3 km² (oder rund 27%) auf 0,8 km² geschwunden. Die Variationsbreite der Einzelwerte umspannte 1850 ein Spektrum von 0,009 km² bis 105,6 km² (Grosser Aletsch). Der winzigste, um 1850 gerade noch erfasste Firnfleck war damit im Vergleich zum grössten Gletschersystem (Grosser Aletsch) mehr als 11 000mal kleiner. Im Bezugsjahr 1973 reichte das Wertespektrum, bedingt durch die Berücksichtigung der vollständig abgeschmolzenen Verfirnungen, von 0,0 km² (Gletscher ganz verschwunden, prozentualer Flächenschwund 100%) bis 96,1 km².

Messnetzgletscher versus Durchschnittsgletscher

Die Karte (vgl. Fig. 5, S. 38) veranschaulicht die Lage und zugleich die zur Auswertung der jährlichen Längenänderungsdaten verwendete Gruppierung der Messnetzgletscher in die Längenklassen A bis D (vgl. Fig. 4, oben). Am häufigsten sind im Messnetz die Vertreter der Klasse B (Länge 1 bis 5 km), die mit 67 Gletschern rund 55% der Stichprobe stellen. Die Klasse A der kleinsten Gletscher

(Längenwert unter 1 km) ist dabei mit lediglich 20 Einheiten (16,5%) im Vergleich zur schweizerischen Gesamtstichprobe deutlich untervertreten. In den Klassen C und D sind jedoch ausnahmslos sämtliche längsten (und zugleich flächengrössten) Gletscher der Schweizer Alpen enthalten.

Entsprechend ihrer asymmetrischen Gröszenstruktur sind denn auch die Dimensionen der Messnetzgletscher wesentlich umfangreicher. Der mittlere Messnetzgletscher wies um 1850 noch eine Flächenausdehnung von 8,0 km² auf und war damit rund siebenmal grösser als der nationale Durchschnittsgletscher. Der Schwund um 1,4 km² auf 3,9 km² entspricht hingegen nur gerade einem Verlustanteil von 17,5%. Dieses Verhalten ist ein direktes Abbild des statistischen Übergewichts der grossen und langen Gletscher, die generell zu geringeren Schwundanteilen tendieren.

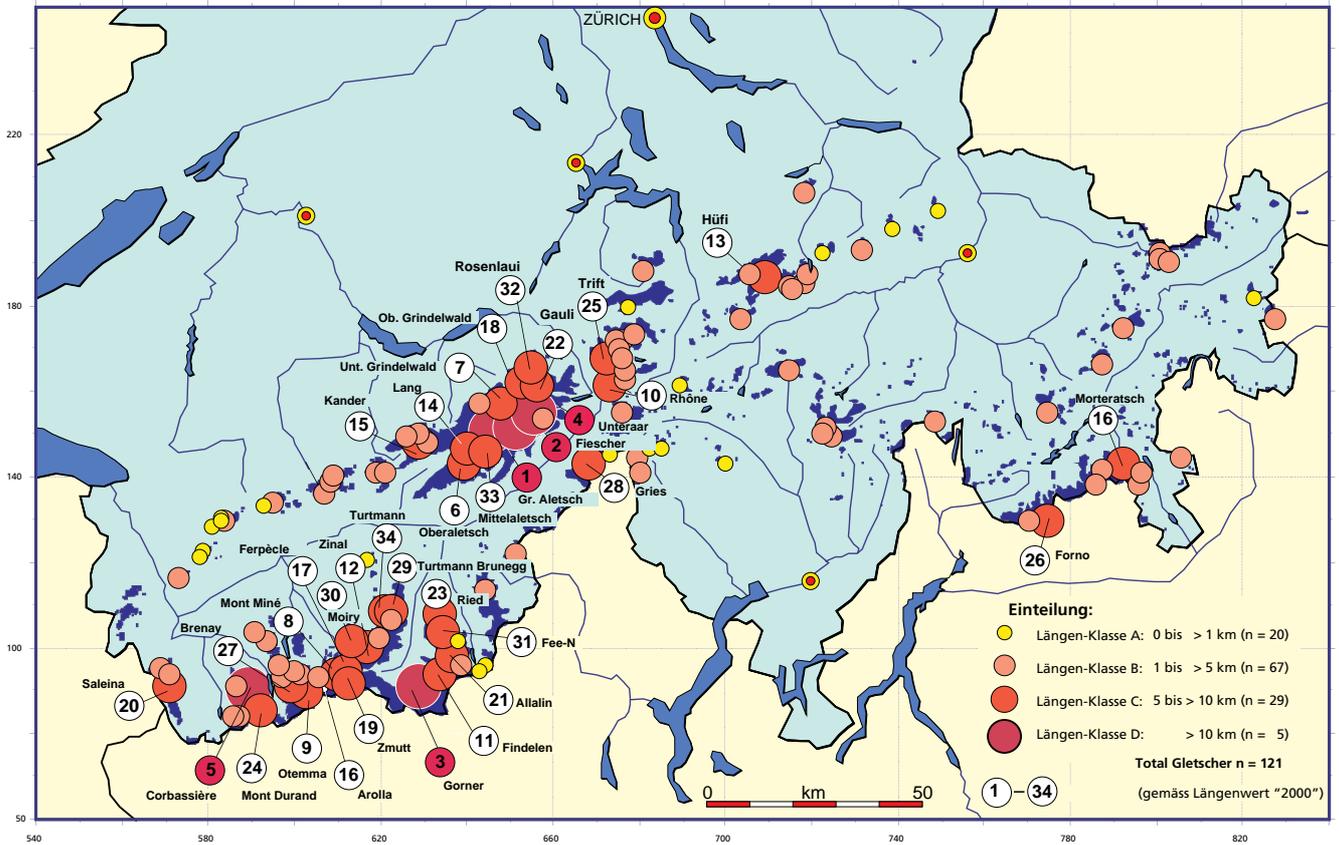


Fig. 5 Karte zur Vergletscherung der Schweizer Alpen sowie zur Lage und Klassierung der 121 Messnetzgletscher. Die Zahlen kennzeichnen die entsprechenden Rangplätze der 34 längsten Gletscher (gemäss Längenwert «2000»).



Foto: Stephan Suter

Der Festigletscher neben der Domhütte endet steil auf einer Felsplatte. Gelegentlich können kleinere Eisabbrüche von der Hütte aus beobachtet werden.

«Eisriesen» dominieren Längenspektrum

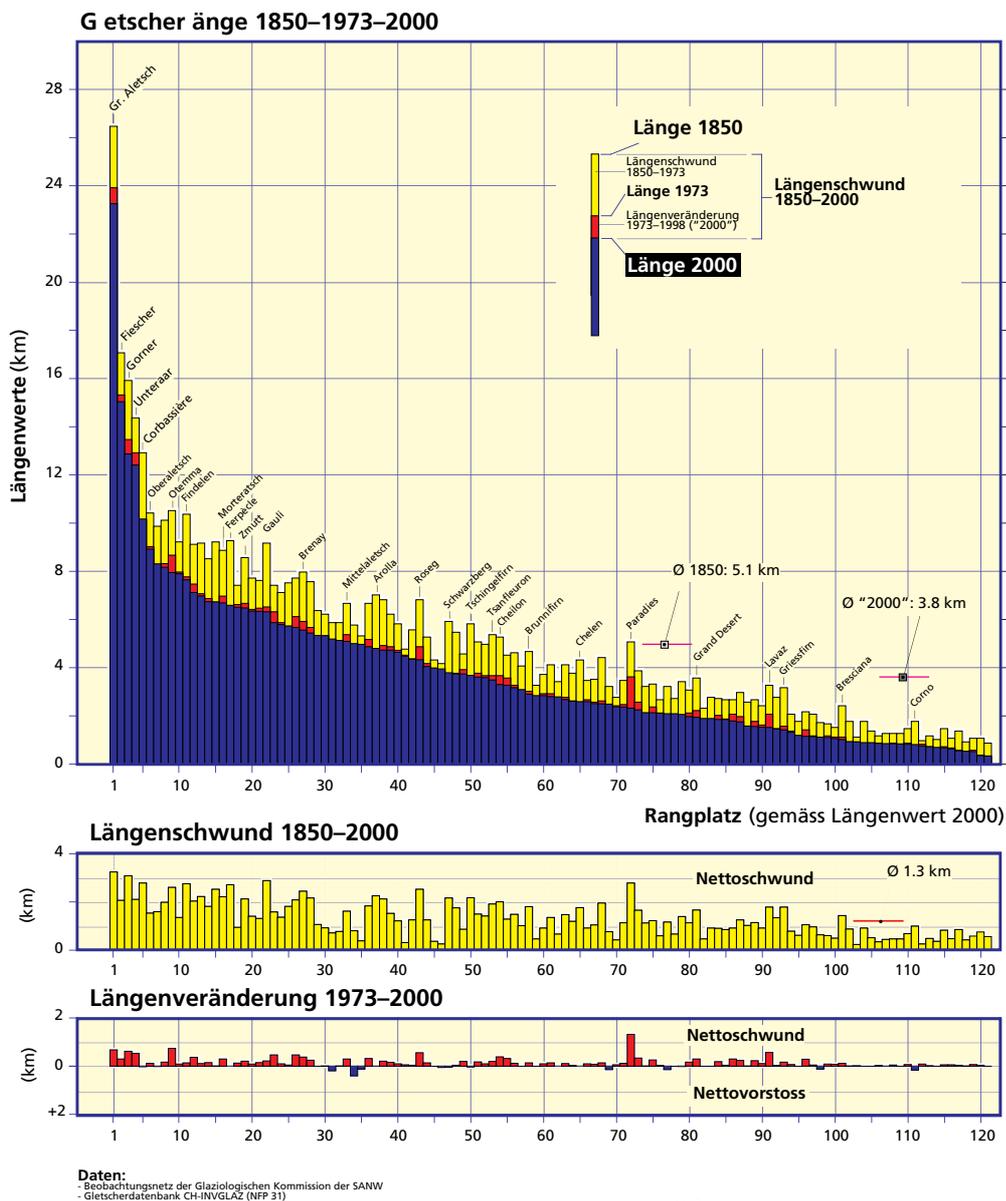
Im Diagramm (vgl. Fig. 6 S. 39) sind alle 121 Messnetzgletscher in absteigender Rangreihenfolge ihrer aktuellen Länge (gemäss Längenwert «2000», blaue Säulendarstellung) aufgereiht. Gleichzeitig sind die Längenschwundbeträge 1850 bis 1973 sowie die Längenveränderungen im Zeitraum 1973 bis 1998 separat eingezeichnet. Für die jüngste Entwicklung im Zeitraum 1973 (Inventarjahr) bis 1998 (hier vereinfachend als Jahr «2000» bezeichnet)

wurden die Längenveränderungen anhand der verfügbaren Messnetzdaten differenziert berechnet (vgl. Tab. 2).

Das Längenspektrum wird auffallend durch die fünf «Eisriesen» der Längensklasse D (Länge über 10 km) geprägt. Als Spitzenreiter dominiert der Grosse Aletsch (1850: 26,50 km; 1973: 23,95 km; «2000»: 23,27 km) vor dem Fieschergletscher (1850: 17,10 km; 1973: 15,35 km; 1998: 15,05 km) und den Gletschern Gorner (nach Fläche figuriert er auf dem 2. Rang), Unteraar und Corbassière. Die in der Rangskala nachfolgenden Netzgletscher zeigen eine erstaunlich gleichförmig absteigende Tendenz in ihrer gegenwärtigen Längenausdehnung.

Von 1973 bis 1998 gingen die 121 Netzgletscher weiter zurück (Maximum: Paradiesgletscher –1320 m; Minimum: Brunegg-Gletscher mit einem Nettovorstoss von +412 m). Dabei verzeichnete eine Mehrheit von 93 Gletschern einen Nettolängenverlust, während erstaunlicherweise 18 Netzgletscher, entgegen dem vorherrschenden Gesamtrend, einen Nettolängenzuwachs erlebten. 10 Netzgletscher zeigten keine nachweisbare Veränderung (± 0 m, z. T. noch unvollständige Messreihen bis 1998).

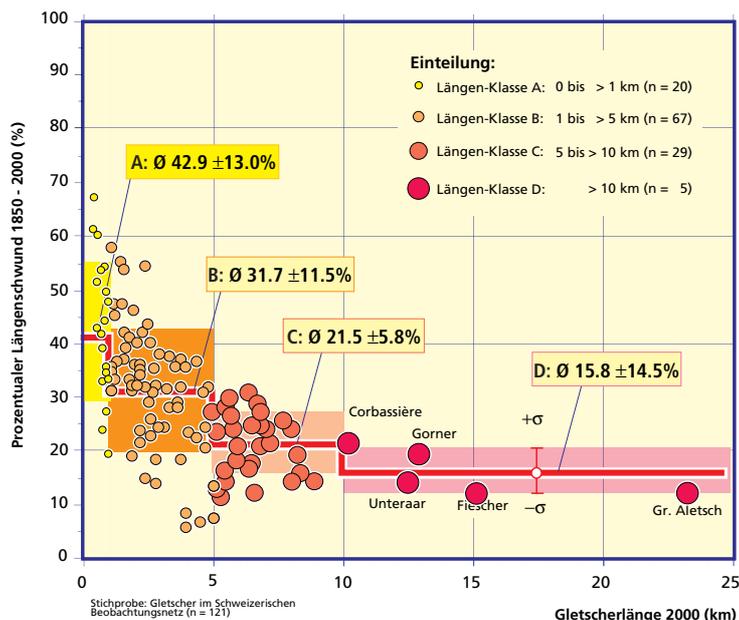
Die 121 Messnetzgletscher (anzahlmässig etwa 6% aller Schweizer Gletscher) bedecken mit einer Fläche von rund 800 km² gut 60% der gesamtschweizerischen Vergletscherung (von total rund 1300 km²) und beinhalten mit geschätzten 62 km³ Volumen annähernd 85% der nationalen Eisreserven (rund 74 km³). An die 30 km³ (über 40% des schweizerischen Eisvolumens) sind allein in den fünf grössten (längsten) Gletschern der Klasse D enthalten.



Figur 6 Längenwerte und Längenveränderungen der Gletscher im Schweizerischen Beobachtungsnetz. Die Gletscher sind in absteigender Rangreihenfolge entsprechend ihres Längenwertes «2000» aufgereiht (blaue Säulen).

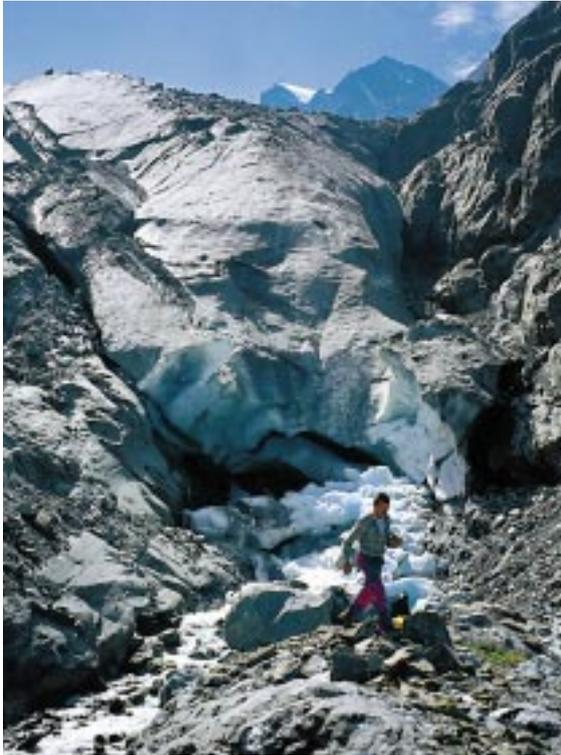
Gletscherlänge und Klimawandel

Die Abfolge der Säulendarstellung der Längenänderungsbeträge in der Zeitperiode 1850 bis 2000 lässt erkennen, dass das Ausmass der gemessenen Schwundbeträge direkt mit der Gletscherlänge korreliert. Die grösseren und längeren Gletscher des Messnetzes haben grundsätzlich die umfangreicheren absoluten Längeneinbussen hinnehmen müssen. Gemessen an ihren Ausgangsdimensionen erweist sich aber ihr Verlustanteil markant niedriger als bei der Gruppe der kürzeren Gletscher. Dieser Zusammenhang kommt bei einer direkten Gegenüberstellung der entsprechenden Längendaten besser zum Ausdruck (vgl. Figur 7, rechts). Deutlich zeigt sich hier – allerdings bei einer erstaunlich grossen Einzelwertstreuung –, dass die kürzeren Messnetz-gletscher signifikant erhöhte Verlustanteile aufweisen (Klasse A: 43%; Klasse B: 31,7%). Demgegenüber tendieren die längeren Eisströme sichtbar zu niedrigeren Längenschwundbeträgen (Klasse C: 21,5%; Klasse D: 15,8%).



Figur 7 Zusammenhang zwischen Gletscherlänge und prozentalem Längenschwund im Zeitraum 1850–2000. Die Gletscher sind entsprechend ihrer Länge den vier Auswertungsklassen A–D zugeteilt, die ausgezogene Linie veranschaulicht die entsprechenden Klassenmittelwerte.

Dieser glaziologisch gut begründbare Zusammenhang unterstreicht die Vermutung, dass die Gruppe der heute allgemein kleineren und kürzeren Gletscher wohl auch in zukünftigen Schwundperioden (Stichwort «Treibhausklima») viel sensibler und schneller auf Klimaverschiebungen reagieren werden als die längeren Eisströme. Diese verfügen in ihren Nährgebieten noch über wesentlich umfangreichere «Reservekapitalien» in gefrorener Form.



Fotos: Daniel Vonder Mühli



b) Zuerst mittels Winkelmessung ...

Bei der Vermessung der Corbassière-Gletscherzunge (VS)

a) Auf dem anstehenden Fels ist ein Fixpunkt markiert.



c) ... und anschliessend mit dem Messband wird die Lage der nicht direkt zugänglichen Gletscherzunge ermittelt.

An den grossen «Schulbuchgletschern» (z.B. Rhone, Morteratsch) hingegen, die ja ausnahmslos im Messnetz der Glaziologischen Kommission figurieren, wird ein künftig beschleunigter Gletscherzerfall als Distanzänderung der Zungenlage wesentlich sichtbarer und messbarer in Erscheinung treten und zu einschneidenderen Veränderungen im Landschaftsbild führen (vgl. Maisch et al., 1993/99; SL 1999). Für die Beobachtung des langfristigen Klimatrends erweisen sich damit die im Messnetz bevorzugten grösseren (längeren) Gletscher (Klasse B bis D) als überaus geeignete Indikatoren.

Gletschervorfeldgebiete

Die nunmehr seit 150 Jahren sukzessive eisfrei gewordenen, auffallend dynamischen und naturgeographisch einzigartigen Gletschervorfeldgebiete werden damit zu den glazialmorphologischen Hauptzeugen des Klimawandels im Hochgebirge. Die nachhaltige Unterschutzstellung dieser Objekte im Rahmen eines bundesweiten Inventars der Gletschervorfelder und alpinen Schwemmebenen (BUWAL 1999) sollte damit allen naturverbundenen Berggängern ein zentrales Anliegen sein.

Literatur

BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) Hrsg. (1999): Gletschervorfelder und alpine Schwemmebenen als Auengebiete. Technischer Bericht. *Schriftenreihe Umwelt*, Nr. 305, Natur und Landschaft.

Müller, F., Cafilisch, T. und Müller, G. (1976): Firn und Eis der Schweizer Alpen. *Gletscherinventar*. ETH Zürich.

Maisch, M., Wipf, A., Denneler, B. und Benz, C. (1999): Die Gletscher der Schweizer Alpen. Hochstand 1850 – Aktuelle Vergletscherung – Gletscherschwund-Szenarien. *Schlussbericht NFP 31 Projekt Nr. 4031-033412*. vdf Hochschulverlag AG, Zürich.

Maisch, M., Burga, C.A. und Fitze, P. (1999): *Lebendiges Gletschervorfeld*. Von schwindenden Eisströmen, schuttreichen Moränenwällen und wagemutigen Pionierpflanzen im Vorfeld des Morteratschgletschers. Führer und Begleitbuch zum Gletscherlehrpfad Morteratsch. 2., ergänzte Auflage. Geogr. Institut der Univ. Zürich, Gemeinde Pontresina.

Stiftung Landschaftsschutz Schweiz (SL) (1999): *Naturpfad Gletsch*. In fünf Schritten durch das Gletschervorfeld des Rhonegletschers. SL, Bern. ■