

The Swiss Glaciers

1997/98 and 1998/99

Glaciological Report No. 119/120

Glaciological Commission (GC) of the Swiss Academy of Sciences (SAS) and Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology at the Federal Institute of Technology (VAW/ETHZ)

Edited by

Evelyne Ruth Herren¹

Martin Hoelzle²

Max Maisch³

¹Bremgarten (AG)

²Glaciology Section
Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology
Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich

³Physical Geography
Department of Geography
University of Zurich

2001

Publication of the Glaciological Commission (GC) of the Swiss Academy of Sciences (SAS)

c/o Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW)
at the Federal Institute of Technology (ETHZ)

Gloriastrasse 37/39, ETH centre, CH - 8092 Zurich, Switzerland

© Glaciological Commission SAS 2001

ISSN 1424-2222

Printed by

Ebnoether Druck AG
Buch- und Offsetdruck
Alte Dorfstr. 1
CH - 8135 Langnau
Switzerland

Cover Page: A study on the stability of hanging glaciers was conducted as part of the NFP 31 Research Programme. Many of the glaciers are frozen around the edges, which increases their stability. This example shows a slope glacier at Studerhorn at 3000 m elevation, with the Finsteraargletscher in the foreground. (Photo: R. Frauenfelder, University of Zurich)

Preface

The Glaciological Commission of the Swiss Academy of Sciences is able to present with this report its 119/120th issue, which is the third report written in English, and with a new layout. The positive feedback from many colleagues the world over concerning the new format was most encouraging.

The evolution of glaciers is still one of the key elements of early detection strategies focusing on potential scenarios of climatic change. Thanks to our predecessors who started this measurement series now spanning over more than an entire century, it has been possible to build up a large store of knowledge. The questions originally posed still remain a scientific focus and the data collected provide increasingly clear answers relating to atmospheric warming and its effects on the environment. No other phenomenon demonstrates cumulative changes in the complex climate system more impressively – for specialists as well as for non-specialists – than glaciers. It is crucial, therefore, that governments all over the world appreciate the importance of such long-term monitoring projects. We would like to take the opportunity here to extend thanks to the Swiss Federal Government and all related agencies which have lent their support to the systematic, long-term observation of glaciers in Switzerland for many decades.

Today, the Swiss Glaciological Commission not only supports long-term monitoring of glaciers, but is among the first in the world to have also initiated a new, long-term permafrost monitoring programme. The concept of PERMOS for Permafrost Monitoring in Switzerland was prepared, evaluated and reviewed over a two-year period by several university institutes and also by experts outside of Switzerland. A pilot phase of three years has now started and the project will be evaluated after this initial period. It is planned to publish the results of the new permafrost monitoring in a similar way as has been done for the glaciers.

Both monitoring networks for glaciers as well as for permafrost are integrated in the Global Terrestrial Network for Glaciers (GTN-G) and for permafrost (GTN-P), respectively, of the Global Climate Observing System (GCOS) and the Global Terrestrial Observing System (GTOS), the World Meteorological Organization (WMO), the International Council of Scientific Unions (ICSU), the United Nations Environment Programme (UNEP), the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organizations (UNESCO) and other high-profile organizations.

The present volume is based on two short annual reports published in the magazine “The Alps” of the Swiss Alpine Club [Hoelzle et al., 1999; Hoelzle et al., 2000].

Published Reports

Annual reports of the Swiss glaciers started in the year of 1880 by F.A. Forel (1841-1912).

Authors of the annual reports:	No.	Year
F.A. Forel et L. Du Pasquier	1 - 17	1880 - 1896
F.A. Forel, M. Lugeon et E. Muret	18 - 27	1897 - 1906
F.A. Forel, E. Muret, P.L. Mercanton et E. Argand	28	1907
F.A. Forel, E. Muret et P.L. Mercanton	29 - 32	1908 - 1911
E. Muret et P.L. Mercanton	33 - 34	1912 - 1913
P.L. Mercanton	35 - 70	1914 - 1949
P.L. Mercanton et A. Renaud	71 - 75	1950 - 1954
A. Renaud	76 - 83	1955 - 1961/62
P. Kasser	84 - 91	1962/63 - 1969/70
P. Kasser und M. Aellen	92 - 104	1970/71 - 1982/83
M. Aellen	105 - 115	1983/84 - 1993/94
M. Aellen, M. Hoelzle und D. Vonder Mühl	116	1994/95
M. Hoelzle und D. Vonder Mühl	117	1995/96
M. Hoelzle, D. Vonder Mühl, A. Bauder und G.H. Gudmundsson	118	1996/97
M. Hoelzle, D. Vonder Mühl und M. Maisch	119	1997/98
M. Hoelzle, D. Vonder Mühl, M. Schwikowski und H.W. Gäggeler	120	1998/99

Authors of the glaciological two year reports:

P. Kasser, M. Aellen und H. Siegenthaler	95/96 - 99/100	1973/74 - 1978/79
M. Aellen	101/102	1979/80 - 1980/81
M. Aellen und E. Herren	103/104 - 111/112	1981/82 - 1990/91
E. Herren und M. Hoelzle	113/114	1991/92 - 1992/93
E. Herren, M. Hoelzle and M. Maisch	115/116 - 119/120	1993/94 - 1998/99

Contents

Preface	III
Published Reports	IV
1. Weather and Climate	1
1.1 Weather and Climate in 1997/98	1
1.2 Weather and Climate in 1998/99	2
1.3 Climate in 1997/98 and in 1998/99, Summary Deviation from the mean value 1901-1960	3
2. Length Variations	7
2.1 Length Variations in 1997/98	7
2.2 Length Variations in 1998/99	7
2.3 Length Variations in 1997/98 and in 1998/99, Summary	9
2.4 Length Variations - Statistics for 1880-1997	16
2.5 Glacier observation network	20
3. Mass Balance	21
3.1 Introduction, cumulative specific net balances	21
3.2 Mass Balance in 1997/98	23
3.3 Mass Balance in 1998/99	23
3.4 Summary Tables	24
3.5 Griesgletscher (Aegina)	26
3.6 Silvrettagletscher	28
3.7 Ghiacciaio del Basòdino (Ticino)	30
4. Velocity of Some Specific Glaciers	31
4.1 Introduction.....	31
4.2 Aare glaciers	31
4.3 Glacier de Giétro	36
4.4 Glacier de Corbassière.....	38
5. Snow and Firn Accumulation	41
5.1 Claridengletscher	41

6. Selected glaciological research project	43
6.1 Characteristics and Retreat of the Measurement Network Glaciers since 1850	43
6.2 High-alpine Glaciers Testify to Air Pollution throughout History	53
References	59
Acknowledgement	63
Appendix	65
I. Remarks on individual glaciers (in German, French or Italian)	65
II. Investigators of the individual glaciers	85

1 Weather and Climate

1.1 Weather and Climate in 1997/98

Both the weather and the climate data are taken from reports by the former Swiss Meteorological Institute (SMA), recently renamed and henceforth referred to by the new designation, "MeteoSwiss" [MS, 1997-99a-d].

Weather and Climate Conditions in the 1997/98 Hydrological Year

The year 1998 broke the previous year's record for high temperatures, worldwide, and is the warmest year on record since 1860 [WMO, 1998]. On the average, temperatures were 0.7°C higher than at the end of the 19th century, and the last 20 years had continuous above-average temperatures.

In Switzerland during the period under report, which spans the hydrological year from October 1997 to September 1998, the temperatures were clearly too high in general, with average precipitation. Thus for the two periods 1996/97 and 1997/98, the weather conditions were very similar to one another.

Key Climatic Features from the "Monthly Weather Reports of MeteoSwiss" [MS, 1997-99a]

1997

October	Transition from late summer to early winter
November	Foehn storm on the 6th; otherwise stable late autumn weather
December	Extremely variable, with record high temperatures on Christmas Day
Year overall	Extremely warm, very sunny and predominantly low precipitation

1998

January	Mild and sunny, some wintery conditions in the final third
February	Extraordinarily sunny and extremely mild in the mountains
March	Sunny and very dry in the south, unsettled in the north
April	Wet and sun-poor; prolonged winter conditions at Easter
May	Warm, sunny and very dry, especially in the lowlands
June	Too warm on the whole, in spite of an unseasonal cold spell
July	Variable, too warm overall, and generally too dry
August	Sunny, warm and dry; water shortage in the midlands
September	Too little sun, clearly too wet, and fairly normal temperatures
Year overall	Warm and dominantly sunny; negligible damage due to adverse weather conditions

Temperature

As in the previous year, most months were clearly too warm. As early as October, November and December there was a surplus of high temperatures, and in the period from January to August, only

the month of April was colder than usual. February 1998 was probably the warmest February of the century, due to the mild, high-pressure conditions. In August, the zero-degree limit rose over several days to approx. 4500 m. During the months of May to September, which are the most significant in terms of snowmelt, most of the glacierized regions recorded slighter surpluses of temperature than did the midlands and southern Ticino (Figure 1.1a). Nevertheless, temperatures in the mountains during this period were definitely one degree warmer than the long-term average.

Precipitation

Total precipitation amounts in the year under report corresponded approximately to those for a normal year. As can be seen in Figure 1.1b, only the overly dry Visper valleys and the overly wet southern Ticino deviate by more than 20% from the normal value. September and December in particular were too wet, whereas the months of October, February, May and August were too dry. In the south, the risk of forest fires was acute in the spring due to low precipitation amounts, but was dispelled with the onset of April precipitation.

Sunshine duration

In general, sunshine duration followed the yearly temperature curve, that is, the excessively warm months produced above-average values, while the unfavourable weather months of April and September were also sun-poor.

1.2 Weather and Climate in 1998/99

Weather and Climate Conditions in the 1998/99 Hydrological Year

According to the World Meteorological Organization [WMO, 1999], the year 1999 was the final year of the warmest decade and of the warmest century of the last millenium. Temperature measurements have been recorded on a systematic, worldwide basis since 1860, and the seven warmest years all occurred in the 1990s! The year 1999 takes 5th place on the list of warmest years, with 0.3 to 0.4°C above the normal value (1961 - 1990).

In Switzerland as well, the year 1998/99 under report was excessively warm and too wet, especially in the north. This particular winter, with its extreme amounts of snowfall and large, damaging avalanches, will not soon be forgotten.

Key Climatic Features from the "Monthly Weather Reports of MeteoSwiss" [MS, 1997-99a]

1998

October	Sun-poor, wet and stormy, especially in the north
November	Dry and sunny in the south, wet in the north, cold as of mid-month
December	Low precipitation after a winterlike beginning, lots of sun in midlands
Year overall	Warm and dominantly sunny, only slight storm damage

1999

January	Extremely mild start, winterlike end, very sunny in the midlands
February	Chaotic snow conditions, avalanche disasters, very dry and sunny in the south
March	Variable March weather, favourable jet streams for the Breitling Orbiter 3 balloon
April	Wet and stormy conditions, sun-poor but too mild
May	Clearly too warm, extreme precipitation in Germanic Switzerland
June	Very changeable and wet with intense thunder-storm conditions in some areas
July	Warm and variable, canyoning tragedy in Saxet Gorge
August	Warm, but dominantly wet and sun-poor
September	Initially sunny and bright, then rainy and gloomy; always warm
Year overall	Wet, yet warm; avalanches, flooding, hail, hurricane activity

Temperature

Only the months of November and February could be classified as cold, in contrast to the months of January, March and May, and the summer months of July, August and September, which are particularly important for the melt-out of the glaciers. This can be explained by the lack of cold temperatures until the end of October. Both May (snowmelt!) and September were extraordinarily warm, with values between 1.0 and 2.5°C above the long-term mean temperature (Figure 1.2a).

Precipitation

In the wake of two average years, the precipitation amounts in the year under report were far above the norm. The months of October, April, June and September were too wet, to some extent even far too wet, whereas the months of December and July were too dry. South of the main Alpine ridge there was a surplus of up to 20%, with 40% or even up to 60% in the north (Figure 1.2b). During the first half of the year 1999, the greatest amounts of precipitation for the entire century fell in vast areas of Switzerland, clearly breaking local records. This was due mainly to the wet months of February, April, May and June.

Sunshine duration

Sunshine duration achieved only approx. 90% of the mean values. In the Alps, the months of February until June, as well as August, were sun-poor.

1.3 Climate in 1997/98 and in 1998/99, Summary Deviation from the mean value 1901-1960

The regional differences in the important climatic elements for the mass balance of the glaciers are illustrated in the Figures 1.1 and 1.2 on the basis of the annual precipitation and the summer air temperatures [MS, 1997-99c+d].

THE SWISS GLACIERS 1997/98 AND 1998/99

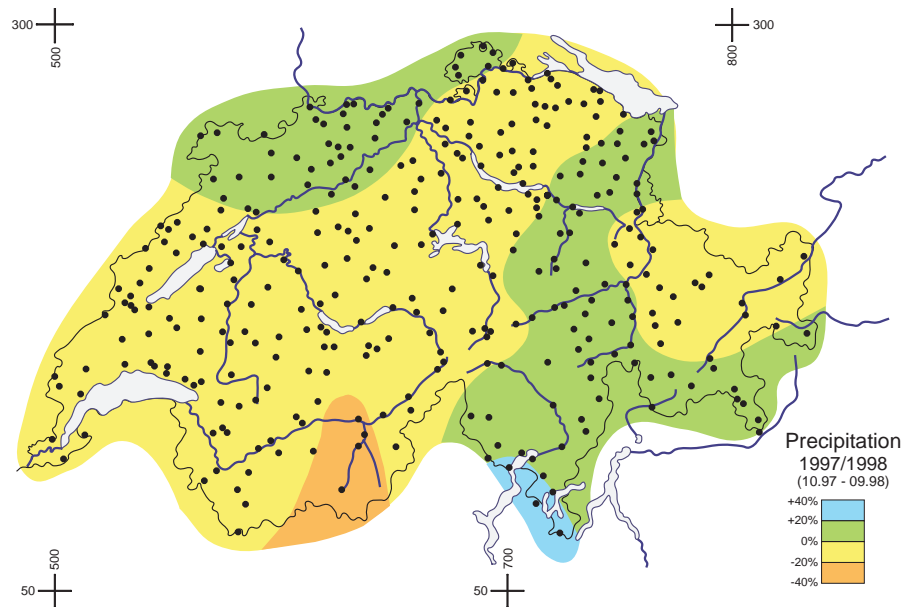


Figure 1.1a: Annual precipitation 1997/98 - Deviation from the mean value 1901-1960. Deviation in percentage.

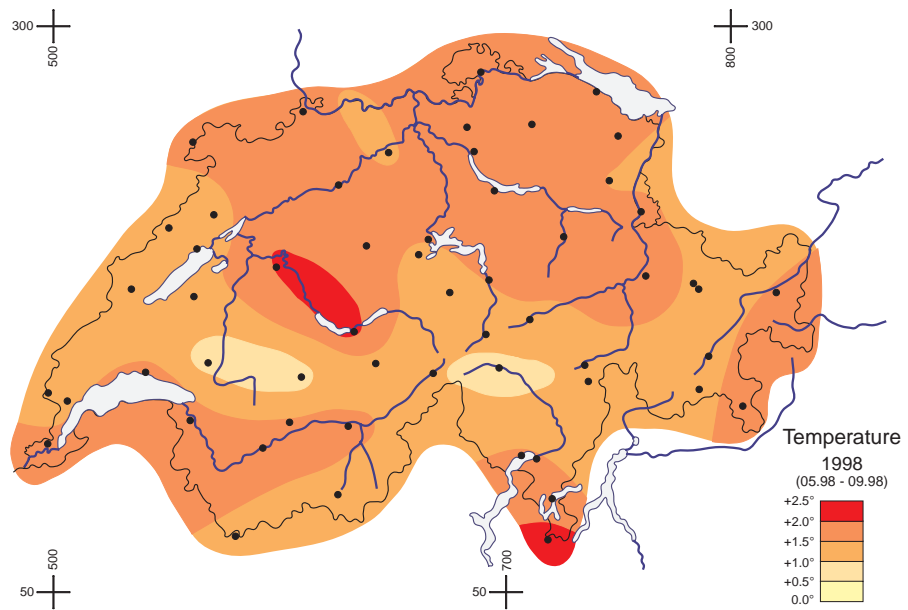


Figure 1.1b: Mean summer air temperatures 1998 - Deviation from the mean value 1901-1960. Deviation in degree Celcius.

1. WEATHER AND CLIMATE

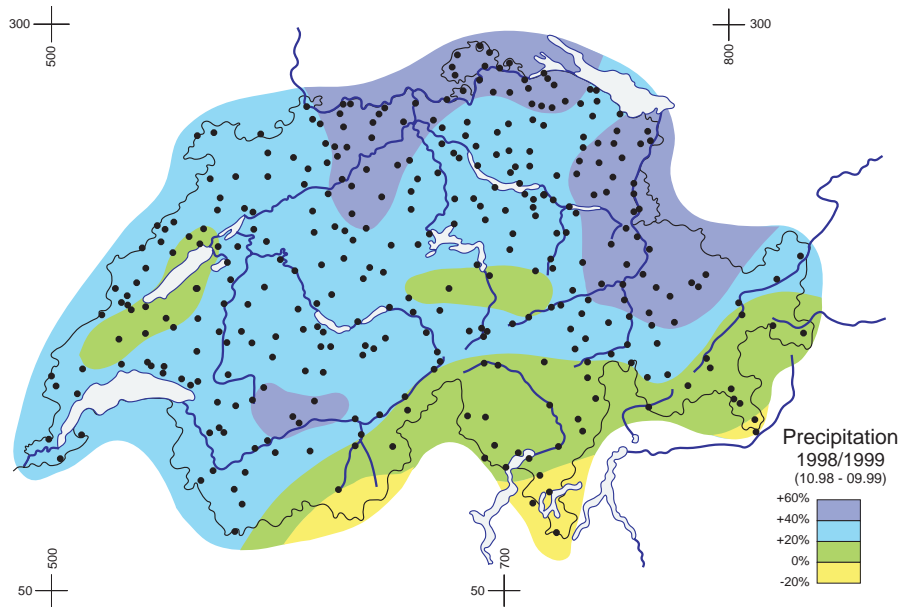


Figure 1.2a: Annual precipitation 1998/99 - Deviation from the mean value 1901-1960. Deviation in percentage.

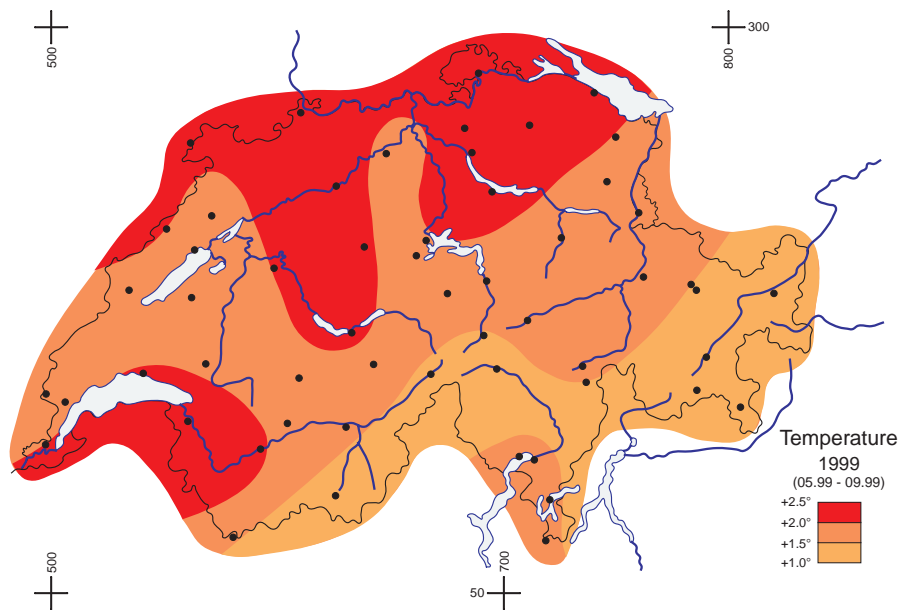


Figure 1.2b: Mean summer air temperatures 1999 - Deviation from the mean value 1901-1960. Deviation in degree Celcius.

THE SWISS GLACIERS 1997/98 AND 1998/99



*Photos 1.1:
The Glacier du Grand Désert retreated approx. 139 m between 1989 and 1998 and is currently about 1400 m shorter than at the beginning of the measurement series in 1893. (Photos: Triage Forestier Nendaz-Isérables)*

a) 1989



b) 1991



c) 1997

2 Length Variations

2.1 Length Variations in 1997/98

In spite of the extremely unfavourable weather conditions in autumn 1998, the observers were able to take measurements of 84 glaciers. The measurements indicated that 81 glaciers had shortened further during the past year, while only one had advanced and two remained stationary (Figure 2.1, 2.4a and Table 2.1). The strongest retreat record was held by the Allalingletscher in Saas Valley, with - 140 m. Mont Durand in Val de Bagnes in Lower Valais was the only advancing glacier, with approx. + 7 m.

The annual length changes of 12 glaciers are determined by means of aerial photography, namely of: Rhône, Mutt, Gries, Grosser Aletsch, Schwarzberg, Allalin, Kessjen, Findelen, Giétro, Corbasrière, Oberaar and Unteraar Glaciers. The aerial photographs of these glaciers are processed on a special evaluation device, the analytical plotter. The aerial photographs are taken by the Swiss Federal Geodetic Survey or by the Swiss Federal Topographical Survey*. Due to the poor weather conditions in autumn 1998, only four out of 12 glaciers could be measured. The resulting gaps in the measurements in the time-series spanning over one hundred years hinder the interpretation of the data to a varying extent: the tongue of a large, flat glacier like the Grosser Aletsch, for example, reacts very slowly to climatic changes, which means that a gap of one or two years does not exercise a negative influence on the interpretation of the time-series as a whole (Chapter 2.4, Figure 2.3d and Chapter 6.1). The advantage of these glaciers is that their changes reflect the long-term climatic development. In the case of very small glaciers, like Pizolgletscher in the canton of St. Gall, which is subject to wide variations from year to year (Figure 2.3a), even very small gaps in the data have a negative effect on the interpretation of the time-series. The advantage of these small glaciers is their ability to illustrate the short-term variations in the course of the weather conditions.

2.2 Length Variations in 1998/99

The majority of Swiss glaciers melted back in 1999 as well. Of the 121 glaciers in the measurement network, changes in the glacier tongue could be measured on 98 of them (Figure 2.1 and 2.4b). Nine have advanced, 85 are in retreat, and 4 have experienced insignificant changes in the tongue position. The maximum values measured are - 106 m retreat at the Allalingletscher, and + 83 m advance at the Turtmannletscher.

The advance of several glaciers this year can be traced mainly to the extraordinarily large amounts of snowfall during the winter of 1998/99. Small glaciers in particular react very quickly to such

* Note: These two offices have merged, and are now known as "The Geodesy Department of the Swiss Federal Office of Topography".

THE SWISS GLACIERS 1997/98 AND 1998/99

short-term influences of weather conditions. Their advancing values are normally caused by snow deposits at the terminus. This behaviour is in contrast to the “normal” glacier advances, which often result from long-term cool and high-precipitation weather conditions, leading to a mass surplus in the firn area. This mass gain propagates downhill to the glacier tongue. However, some of the large glaciers take several years to react to climatic changes, a phenomenon which is easily discerned in Figure 2.2 and especially in Figures 2.3a-d, where the differences in the dynamic behaviour of the glaciers can be clearly seen in the length change summation curve. Various glaciers have been classified there according to their length.



Photo 2.1:
The Festigletscher next to the Dom alpine cabin terminates steeply at a rock ledge. Small chunks of ice breaking off the glacier can be observed occasionally from the vantage point of the cabin.
(Photo: S. Suter)

2.3 Length variations in 1997/98 and in 1998/99, Summary

Table 2.1: Length variations in 1997/98 and in 1998/99

No. ^a	Glacier	Ct. ^b	Length variation ^c [m]		Altitude ^d [m a.s.l.]	Date of measurement [Day, Month]		
			1997/98	1998/99		1997	1998	1999
Catchment area of the Rhone (II)								
1 ^{e,f}	Rhone	VS	n	- 11.2 ^{2a}	2179	19.09.	n	9.09.
2	Mutt	VS	n	n	2577.2 ⁹⁵	n	n	n
3 ^e	Gries	VS	- 22.4	- 16	2386	17.09.	31.08.	9.09.
4 ^{e,f}	Fiescher	VS	- 66.3	- 26.3	1677	5.10.	8.09.	20.09.
5 ^{e,f}	Grosser Aletsch	VS	- n	- 46 ^{2a}	1558	15.09.	n	27.10.
106	Mittelaletsch	VS	n	n	2294 ⁹²	2.11.	n	n
6 ^e	Oberaletsch	VS	n	- 21.5 ^{2a}	2144	4.11.	n	21.09.
7 ^{e,f}	Kaltwasser	VS	- 27.3	- 11.2	2660 ⁹²	29.09.	25.09.	12.10.
8	Tälliboden	VS	n	n		n	n	n
9	Ofental	VS	n	n		n	n	n
10 ^e	Schwarzberg	VS	n	- 13 ^{2a}	2655	10.10.	n	2.09.
11 ^{e,f}	Allalin	VS	-140	-106	2473	10.09.	6.11.	2.09.
12 ^e	Kessjen	VS	n	- 16 ^{7a}	2869	n	n	2.09.
13 ^f	Fee (Nord)	VS	-111.1	- 86.6	2003	17.09.	24.09.	29.09.
14 ^f	Gorner	VS	- 43.4	- 11.6	2145 ⁹⁷	23.09.	20.10.	20.10.
15	Zmutt	VS	n	n	2235	10.09.	n	n
16 ^e	Findelen	VS	n	-114 ^{3a}	2491 ⁹⁰	n	n	2.09.
107	Bis	VS	n	n		n	n	n
17 ^e	Ried	VS	- 12.2	- 16	2063	10.09.	7.09.	22.09.
18 ^{e,f}	Lang	VS	- 2	- 18	2050	30.10.	9.09.	29.10.
19 ^{e,f}	Turtmann	VS	- 8.5	+ 82.5	2262 ⁹⁷	4.10.	18.09.	24.09.
20	Brunegg (Turtmann Ost)	VS	- 12.5	+ 27.1	2468	4.10.	18.09.	24.09.
21	Bella Tola	VS	- 8	- 2.9		5.10.	19.09.	23.09.
22 ^f	Zinal	VS	- 30	- 45	2035 ⁹⁷	20.09.	21.09.	3.10.
23	Moming	VS	- 45	- 42	2550	20.09.	21.09.	3.10.
24	Moiry	VS	- 14	- 12	2370	20.09.	29.09.	3.10.
25 ^f	Ferpècle	VS	- 34	- 1	2095 ⁸³	27.09.	13.09.	17.10.
26	Mont Miné	VS	- 15	- 12	1963 ⁸³	27.09.	13.09.	17.10.
27 ^f	Arolla (Mont Collon)	VS	- 5	- 15	2135 ⁸³	27.09.	13.09.	10.10.
28 ^f	Tsidjiore Nouve	VS	- 13	- 21	2205 ⁸³	27.09.	13.09.	10.10.

THE SWISS GLACIERS 1997/98 AND 1998/99

No. ^a	Glacier	Ct. ^b	Length variation ^c		Altitude ^d [m a.s.l.]	Date of measurement [Day, Month]		
			1997/98	1998/99		1997	1998	1999
29 ^e	Cheillon	VS	- 11.6	- 4.1	2645	29.10.	30.08.	10.09.
30	En Darrey	VS	- 8	- 0.3	2435	29.10.	30.08.	10.09.
31 ^e	Grand Désert	VS	- 29.6	+ 3.4	2760 ⁹²	20.09.	2.10.	12.09.
32 ^e	Mont Fort (Tortin)	VS	n	- 42.8 ^{2a}	2780 ⁹²	21.09.	n	5.09.
33 ^{e,f}	Tsanfleuron	VS	- 15	- 7	2417 ⁶⁹	18.09.	2.10.	22.10.
34 ^e	Otemma	VS	- 21.5	- 24	2460	4.10.	21.09.	9.10.
35 ^e	Mont Durand	VS	+ 6.6	- 6	2340	21.09.	19.09.	12.09.
36 ^e	Breney	VS	- 30.8	- 4	2575	22.09.	20.09.	10.10.
37 ^e	Giétro	VS	- 11.8	- 8.2	2500 ⁹⁵	15.09.	31.08.	2.09.
38 ^e	Corbassière	VS	- 11.9	- 15	2182	17.09.	31.08.	2.09.
39 ^f	Valsorey	VS	- 19	- 12	2395 ⁹⁵	4.11.	28.10.	12.10.
40 ^e	Tseudet	VS	- 14	+ 39	2447 ⁹⁵	4.11.	28.10.	12.10.
41	Boveyre	VS	- 37 ^{2a}	- 10	2616	n	2.10.	8.10.
42 ^f	Saleina	VS	- 55	- 13.4	1753	19.10.	18.09.	1.09.
108	Orny	VS	n	n		n	n	n
43 ^{e,f}	Trient	VS	- 60	- 80	1793	15.10.	6.08.	31.10.
44 ^e	Paneyrosse	VD	- 3.1	+ 11.4		16.09.	17.10.	25.09.
45 ^{e,f}	Grand Plan Névé	VD	- 3.5	+ 9.8		16.09.	17.10.	24.09.
46	Martinets	VD	n	n		n	n	n
47 ^e	Sex Rouge	VD	n	n		n	n	n
48 ^e	Prapio	VD	st	sn		20.08.	5.09.	23.09.
49	Pierredar	VD	n	n		n	n	n
Catchment area of the Aare (Ia):								
50 ^e	Oberaar	BE	- 32.9	n	2300 ⁹⁵	15.08.	9.09.	n
51 ^{e,f}	Unteraar	BE	- 94.0	n	1930 ⁹⁵	15.08.	9.09.	8.09.
52 ^e	Gauli	BE	- 13	- 5	2140	28.09.	20.09.	15.10.
53 ^{e,f}	Stein	BE	- 1	- 6	1935	25.09.	24.09.	15.09.
54	Steinlimmi	BE	- 27	- 3	2095	25.09.	24.09.	15.09.
55 ^e	Trift (Gadmen)	BE	- x	- 60	1670 ⁸⁰	n	—10.	16.09.
56	Rosenloui	BE	n	n		n	n	n
57 ^{e,f}	Oberer Grindelwald	BE	- 15 ca.	- 25 ca.		25.10.	24.10.	17.10.
58 ^{e,f}	Unterer Grindelwald	BE	- x	- x		26.10.	24.10.	17.10.
59 ^e	Eiger	BE	- 23.2	- 7.2	2186	17.09.	9.09.	23.09.

2. LENGTH VARIATIONS

No. ^a	Glacier	Ct. ^b	Length variation ^c		Altitude ^d [m a.s.l.]	Date of measurement [Day, Month]		
			1997/98	1998/99		1999	1997	1998
60 ^e	Tschingel	BE	- 4.3	- 1.3	2270	18.09.	10.09.	24.09.
61 ^f	Gamchi	BE	- 13.9	- 10.8	1990 ⁹⁵	5.09.	20.09.	25.09.
109 ^e	Alpetli	BE	- 15.4	- 13.7	2250 ⁹⁵	9.09.	21.09.	17.09.
110	Lötschberg	BE	n	n		n	n	n
62 ^e	Schwarz	VS	- 7.7	- 10	2250 ⁹⁷	19.09.	18.09.	17.09.
63 ^e	Lämmern	VS	- 16.3	- 2.8	2540 ⁹⁷	20.09.	19.09.	18.09.
64 ^{e,f}	Blümlisalp	BE	- 16.4	- 8.6	2250 ⁹⁷	10.09.	18.09.	14.09.
111 ^e	Ammerten	BE	- 3.3	- 3	2350 ca.	5.09.	31.08.	11.09.
65	Rätzli	BE	n	- 8 ca.	2450	19.09.	19.09.	14.09.
112 ^e	Dungel	BE	n	sn		n	n	14.10.
113 ^e	Gelten	BE	n	sn		n	n	24.09.
Catchment area of the Reuss (Ib):								
66 ^e	Tiefen	UR	n	- 19.5 ^{2a}	2520 ⁹⁷	1.10.	n	9.09.
67 ^e	Sankt Anna	UR	n	- 16.2 ^{2a}	2580 ⁹¹	11.09.	n	14.09.
68 ^{e,f}	Kehlen	UR	- 42.4	- 19	2078 ⁸⁹	6.10.	16.10.	8.10.
69 ^e	Rotfirn (Nord)	UR	- 12.9	- 9.6	2030 ⁹⁷	6.10.	16.10.	8.10.
70 ^e	Damma	UR	- 8.3	- 6.4	2080	6.10.	16.10.	28.10.
71 ^{e,f}	Wallenbur	UR	n	- 11.3 ^{2a}	2243	18.09.	n	15.09.
72 ^f	Brunni	UR	n	n		17.09.	n	n
73 ^{e,f}	Hüfi	UR	- 26.2	- 6.5	1640	5.11.	22.09.	12.10.
74 ^e	Griess	UR	- 11.8	0	2223	11.09.	16.10.	18.09.
75 ^e	Firnalmeli (Ost)	OW	n	- 4 ^{2a}	2180	27.09.	n	19.09.
76	Griessen	OW	n	n	2510	19.09.	n	n
Catchment area of the Linth / Limmat (Ic):								
77 ^e	Biferten	GL	- 9.6	- 5.9	1933.2	4.10.	17.10.	11.09.
78	Limmern	GL	n	n	2270	4.10.	n	n
114	Plattalva	GL	n	n	2565	23.09.	n	n
79 ^e	Sulz	GL	- 9	- 3.6	1789	19.09.	30.09.	12.10.
80 ^e	Glärnisch	GL	- 18.6	+ 4.6	2295.5	23.08.	26.09.	9.10.
81 ^{e,f}	Pizol	SG	- 9.7	+ 29.8	2600 ⁹⁴	30.09.	10.09.	1.10.

THE SWISS GLACIERS 1997/98 AND 1998/99

No. ^a	Glacier	Ct. ^b	Length variation ^c		Altitude ^d [m a.s.l.]	Date of measurement [Day, Month]		
			1997/98	1998/99		1999	1997	1998
Catchment area of the Rhine / Lake Constance (Id):								
82 ^e	Lavaz	GR	n	-215 ^{4a}	2260	n	n	19.10.
83 ^{ef}	Punteglias	GR	n	- 28 ^{2a}	2360 ⁹⁷	30.10.	n	11.09.
84 ^{ef}	Lenta	GR	- 18	- 56.3	2315 ⁹⁷	25.09.	25.9.	29.10.
85 ^e	Vorab	GR	- 14.9	sn	2615	26.09.	31.08.	13.09.
86 ^{ef}	Paradies	GR	- 4.9	- 5.4	2693	10.09.	9.09.	8.09.
87 ^e	Suretta	GR	0	0	2228	17.09.	21.09.	10.09.
115 ^e	Scaletta	GR	n	- 3	2580	n	17.10.	15.09.
88 ^{ef}	Porchabella	GR	- 16.4	- 6.5	2638	18.09.	21.09.	17.09.
89 ^e	Verstankla	GR	- 8.5	- 10.3	2380	28.08.	31.08.	30.08.
90 ^e	Silvretta	GR	- 12.3	- 6	2465	16.09.	31.08.	1.11.
91 ^{ef}	Sardona	SG	sn	+ 4.2	2500	11.09.	4.09.	29.09.
Catchment area of the Inn (V):								
92 ^{ef}	Roseg	GR	- 41.8	- 34.6	2159	3.10.	14.10.	6.10.
93 ^e	Tschierva	GR	- 27.7	- 39.6	2190	3.10.	14.10.	6.10.
94 ^{ef}	Morteratsch	GR	- 6.5	- 38.9	2020	8.10.	15.10.	7.10.
95 ^e	Calderas	GR	- 25.9	- 13.4	2740	25.08.	5.10.	16.09.
96 ^e	Tiatscha	GR	- 13	- 18.4	2505	17.10.	7.11.	16.10.
97 ^e	Sesvenna	GR	- 6.4	- 7.3	2760	5.10.	3.10.	28.10.
98 ^e	Lischana	GR	n	- 9.4 ^{2a}	2750	4.10.	n	25.09.
Catchment area of the Adda (IV):								
99 ^e	Cambrena	GR	- 6	- 5.5	2482	1.08.	28.09.	3.09.
100 ^e	Palü	GR	- 11.1	- 18.5	2340	8.09.	31.08.	3.09.
101 ^e	Paradisino (Campo)	GR	- 10.5 ^{2a}	n	2826	n	29.09.	n
102 ^{ef}	Forno	GR	- 19.3	- 16	2280	20.10.	13.10.	22.09.
116	Albigna	GR	n	n	2163 ⁹¹	n	n	n
Catchment area of the Tessin (III):								
120 ^e	Corno	TI	- 7	+ 0.7	2580 ⁹⁷	4.09.	20.09.	24.09.
117 ^e	Valleggia	TI	n	- 3.8 ^{2a}	2425 ⁹⁷	9.09.	n	2.09.
118 ^e	Val Torta	TI	- 7.5	- 6.2	2550 ⁹⁷	9.09.	25.09.	31.08.
103 ^e	Bresciana	TI	- 28.6	- 71	2760 ⁹⁷	26.09.	1.09.	23.09.
119 ^e	Cavagnoli	TI	- 22.5	- 13.3	2600 ⁹⁷	16.09.	24.09.	6.10.
104 ^e	Basòdino	TI	- 8.7	- 7.4	2530 ⁹⁷	17.09.	15.09.	5.10.
121 ^e	Croslina	TI	- 3	- 1.8	2670 ⁹⁷	11.09.	23.09.	14.10.
105 ^{ef}	Rossboden	VS	- 2.1	- 1.8	1920 ⁹⁵	30.09.	25.09.	15.10.

Legend and Remarks

Abbreviations

+	advancing	x	value not determined
st	stationary, ± 1 m	n	not observed
-	retreating	sn	snowed in

Remarks

- a Identification number of the glacier in the observation network (see Figure 2.4a and b).
- b If a specific glacier is situated in more than one canton, the canton indicated in the table is the one where the observed glacier tongue lies.
- c If the value given relates to more than one year, the number of years is indicated as follows:
-23^{4a} = Decrease of 23 meters within 4 years.
- d If the altitude of the glacier tongue is not measured in 1997, the year of the last measurement is indicated: 2522⁹⁵ = 2522 m above sea level, measured in the year 1995.
- e Compare Appendix I: Remarks on individual glaciers.
- f Glacier with nearly complete data series since the beginning of the measurements at the end of the 19th century and one of the 38 glaciers selected in Figure 2.1.

THE SWISS GLACIERS 1997/98 AND 1998/99



a) 1961

Photos 2.3: The pictures from a) to f) show the Chelengletscher during various years between 1961 and 1998. Figure 2.3 b) depicts the variations in the cumulated length changes. Between 1969 and 1987 the Chelengletscher advanced a total of 259 m, but has retreated since then by 200 m. (Photos: Amt für Forst und Jagt, Abteilung Lawinenverbau, Kanton Uri)



b) 1968

c) 1979



2. LENGTH VARIATIONS



d) 1987

e) 1991



f) 1998



2.4 Length variations - Statistics for 1880-1999

The long-term development of glaciers in Switzerland is illustrated by taking a selected sample from the Swiss glacier network (Figure 2.1), and based on cumulative length variations diagrams of four glaciers (Figure 2.2) as well as on glaciers which have been classified according to length (Figures 2.3a-d). In order to avoid having a glacier sample whose scope changes annually, not all glaciers were included in Figure 2.1. Thirty-eight glaciers were selected as a sample with nearly complete series since the beginning of the measurements at the end of the 19th century. In Table 2.1, these 38 glaciers are indicated by a footnote. The glaciers are assigned in three classes: advancing, stationary and retreating. The sample is dominated by medium-sized glaciers (length between 1 to 5 km). The typical response time of these glaciers is in the order of decades. Therefore, the advancing periods such as those in the 1920s and the 1980s can be seen clearly.

Big glaciers, because of their delayed and smoothed reaction and response, take a very long time before they begin to react to a long-term climatic signal with an advance or retreat of the glacier tongue. The differences in reaction and response behaviour are easily recognizable based on the example of the five glaciers selected, namely the Gorner, Tschierva, Roseg, Saleina and the Grand Plan Névé (Figure 2.2). While Gorner, a typical valley glacier, has had no period of advance since the beginning of the observations in the last century, Roseg, Tschierva and Saleina, the three steep mountain glaciers, have gone through various phases of advance and retreat. Grand Plan Névé, the smallest of the five glaciers, has had only very short advance or retreat phases. These five examples

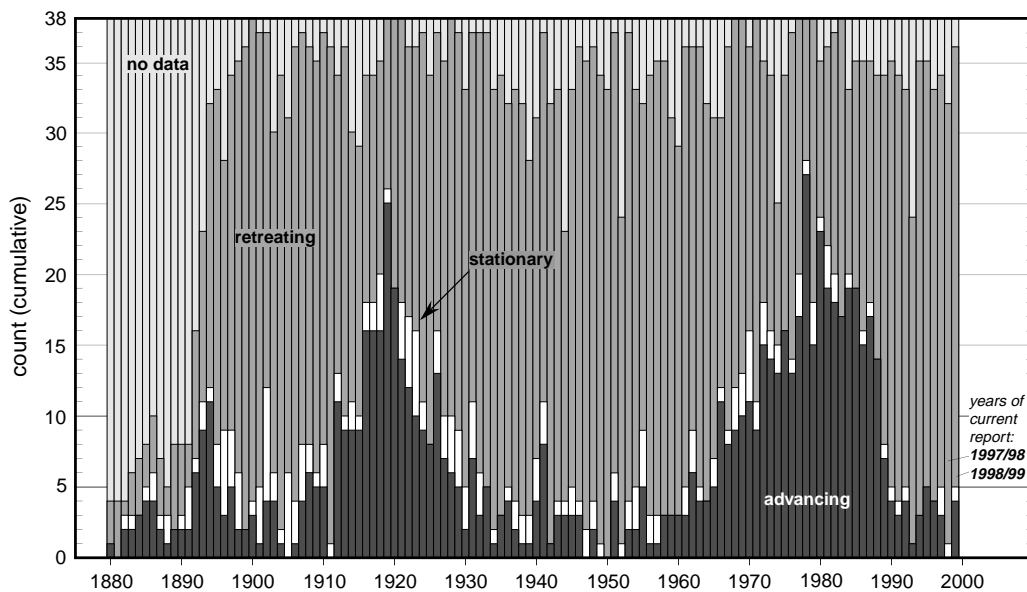


Figure 2.1: Yearly classification of glacier length behaviour (advancing, stationary and retreating) of 38 selected glaciers (compare Table 2.1).

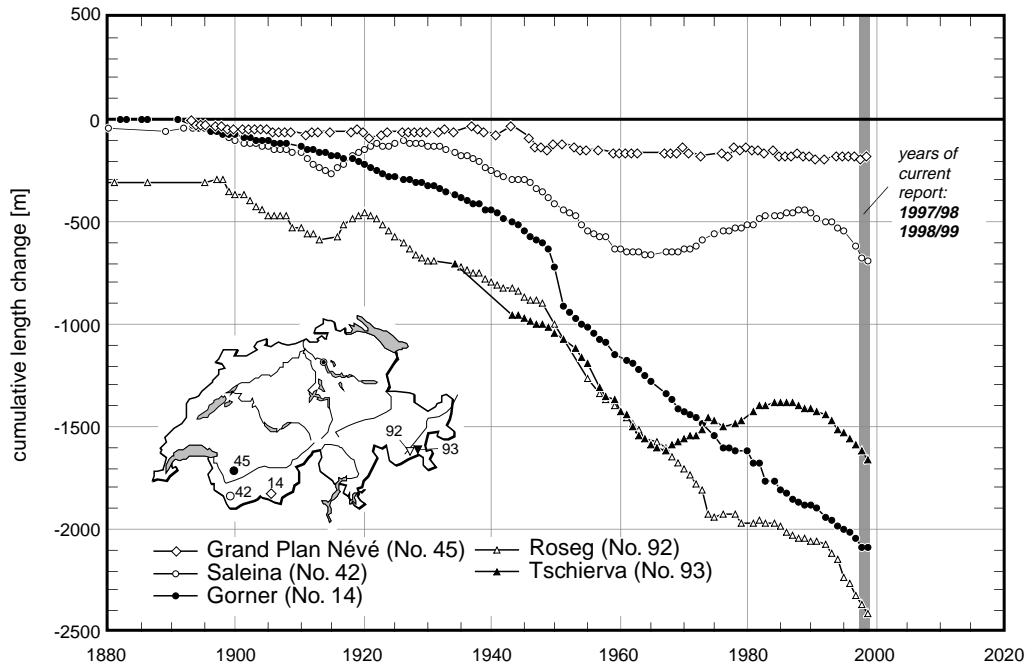
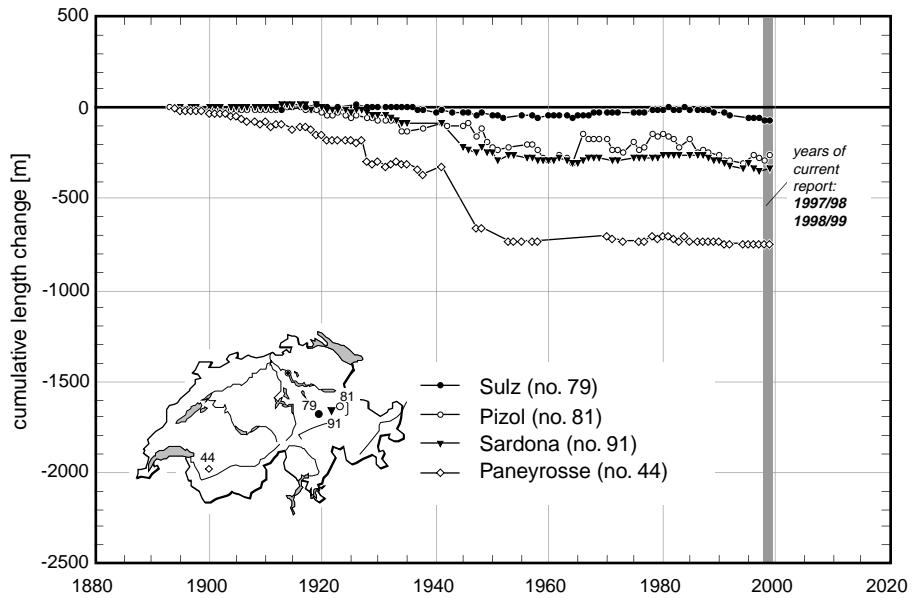


Figure 2.2: Development of cumulative length variations (m) over the whole observation period for Grand Plan Névé, Saleina, Gorner, Roseg and Tschierva glaciers.

clearly demonstrate the broad difference in the behaviour within the range of the same year. The Gorner, as longest and largest of these glaciers, reacts to mass balance changes in the range of centuries, while the reaction time of Roseg, Tschierva and Saleina, the three medium-sized glaciers, lies within the range of decades. This can also be seen from their pronounced periodic fluctuations. It is interesting to note that the Roseg, Tschierva and the Saleina glaciers demonstrated similar behaviour and advanced or retreated almost simultaneously, although Glacier de Saleina is located about 200 km away from the two other glaciers. The climatic conditions in these two regions (south-western Valais and Engadin) were evidently similar over a long period of time. It should be pointed out that until 1934, the Vadret da Tschierva was joined with the adjacent Roseg. Grand Plan Névé, the small cirque glacier, had only very short-term fluctuations which were small ones during the past 100 years. The small glaciers react almost immediately to annual changes in the mass balance by the accumulation of snow or the melting of snow and firn at the edge of the glacier.

In Figures 2.3a-d various glaciers have been classified according to their length in order to clarify and further illustrate this effect. It is easy to see that length is the main factor affecting the length change of a glacier. For further interpretation, refer to Chapter 6.1.

THE SWISS GLACIERS 1997/98 AND 1998/99



Figures 2.3a-d: Summary of yearly length variations (in m) for glaciers in various length categories:
 Figure 2.3a: Very small cirque glaciers with a length of less than 1 km.

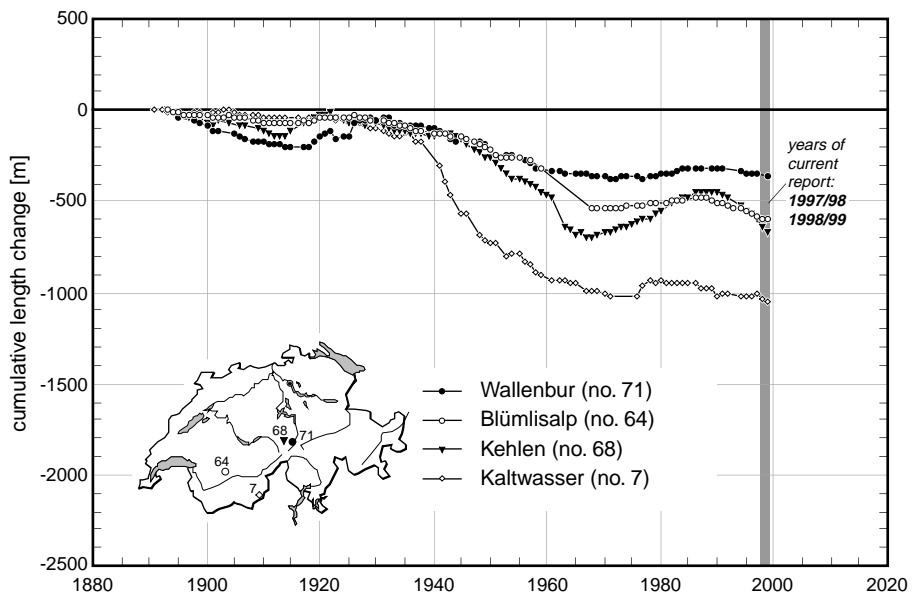


Figure 2.3b: Small mountain glaciers with a length of 1 - < 5 km.

2. LENGTH VARIATIONS

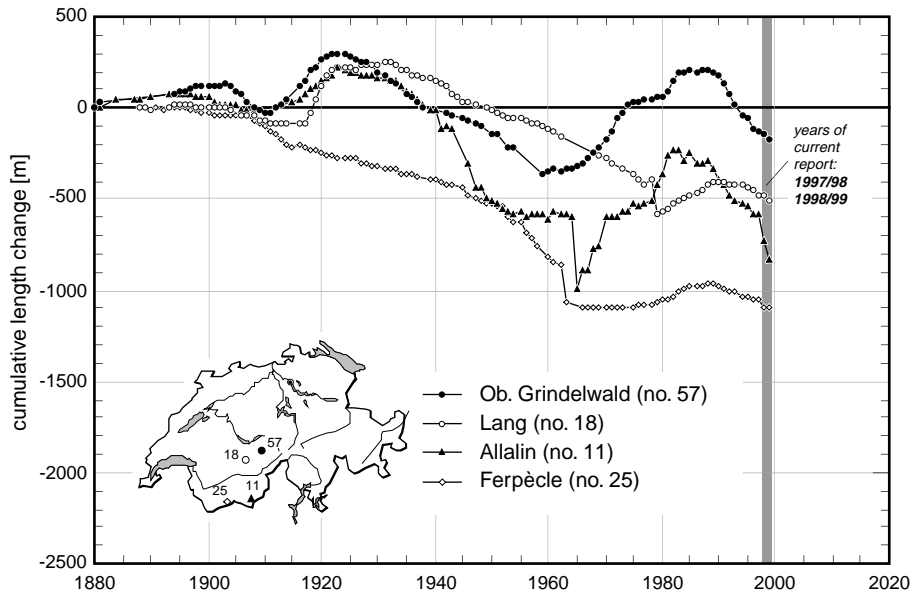


Figure 2.3c: Larger mountain glaciers with a length of 5 - < 10 km.

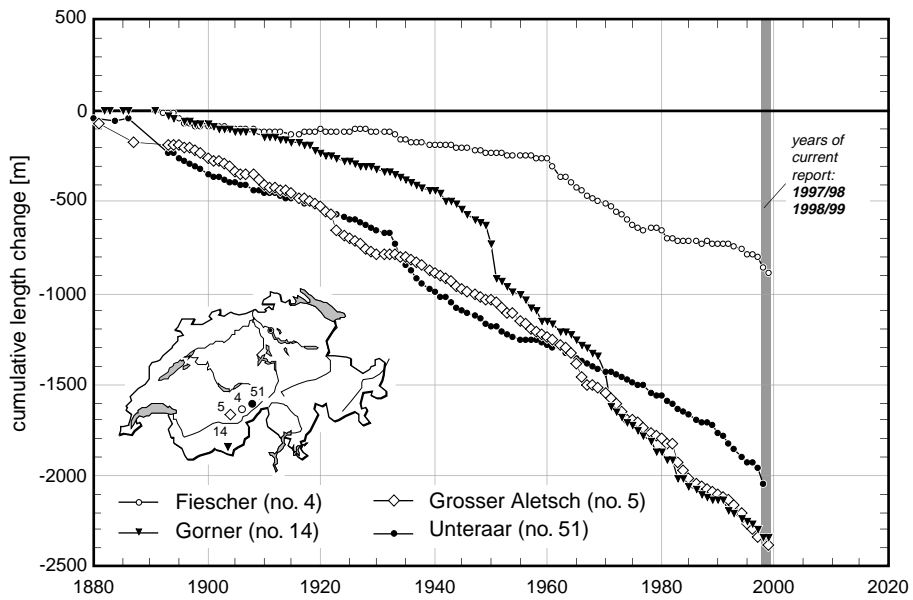


Figure 2.3d: Large valley glaciers with a length of more than 10 km.

2.5 Glacier observation network

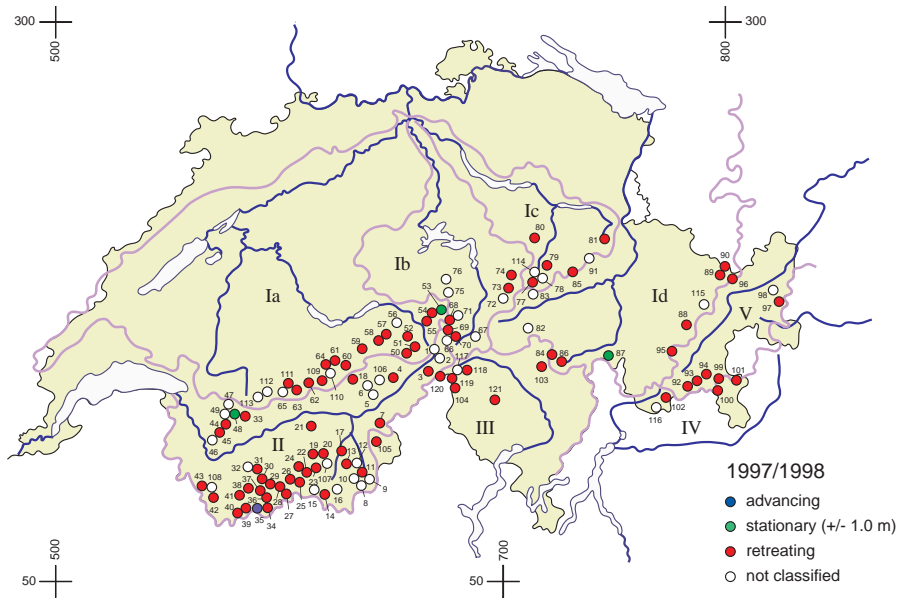


Figure 2.4a: Observed glaciers in 1998.

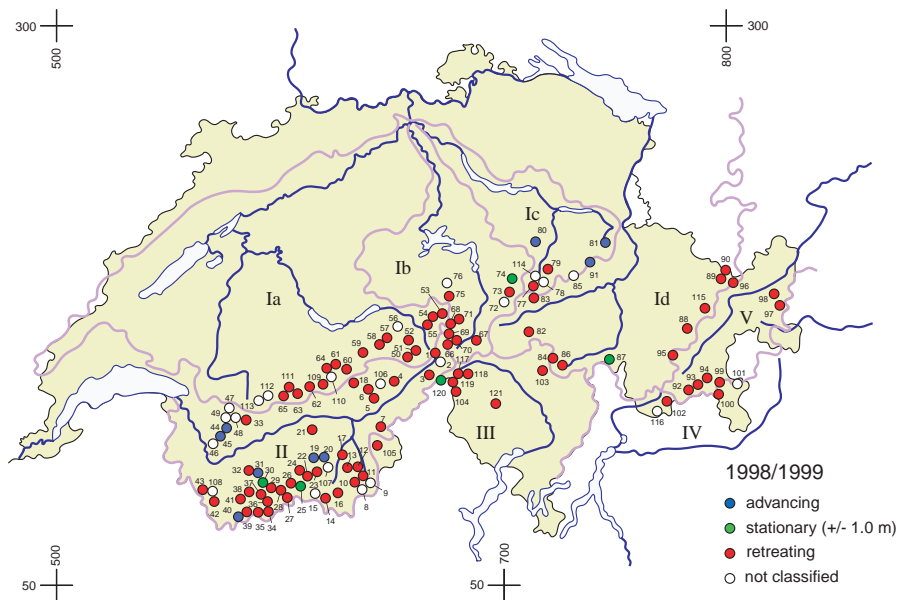


Figure 2.4b: Observed glaciers in 1999.

3 Mass Balance

3.1 Introduction, cumulative specific net balances

The mass balance and the ice temperatures are influenced by the energy exchange between the atmosphere and the glaciers. The mass balance of four glaciers (Gries, Silvretta, Aletsch and Basòdino) was observed annually in Switzerland (Figure 3.1). The annual cumulative specific net balances of these observation series are presented in Figure 3.2. The long-term trends are very well recognizable. The strong mass loss in the 1940s and '80s in particular is remarkable. In addition, the increase in the '60s and '70s of this century is notable. The mass balance of the individual glaciers is measured by different methods. The so-called glaciological method is applied on the Gries, Silvretta and Basòdino Glaciers and the hydrologic method on the Aletsch. In addition to these two methods, the photogrammetric / geodetic method merits attention, as it enables elevation changes on the glacier surface to be determined by means of aerial photographs taken at intervals of 5 to 10 years. This surface elevation change can then be converted to a mass change using appropriate assumptions on the density of firn and ice. Thus there are various independent methods available



Figure 3.1: Investigated glaciers for mass balance (Chapter 3), velocities (Chapter 4), snow and firn accumulation (Chapter 5) and selected glaciological research projects (Chapter 6).

THE SWISS GLACIERS 1997/98 AND 1998/99

for the determination of the mass balance of a glacier, which facilitate verification and error evaluation [Funk et al., 1997]. The Gries and Silvretta glaciers also belong to the international observation network, together with approximately 50 glaciers whose mass balance is observed in worldwide cooperation with the World Glacier Monitoring Service [IAHS (ICS) - UNEP - UNESCO, 1991; 1993a+b; 1994; 1996; 1998 and 1999].

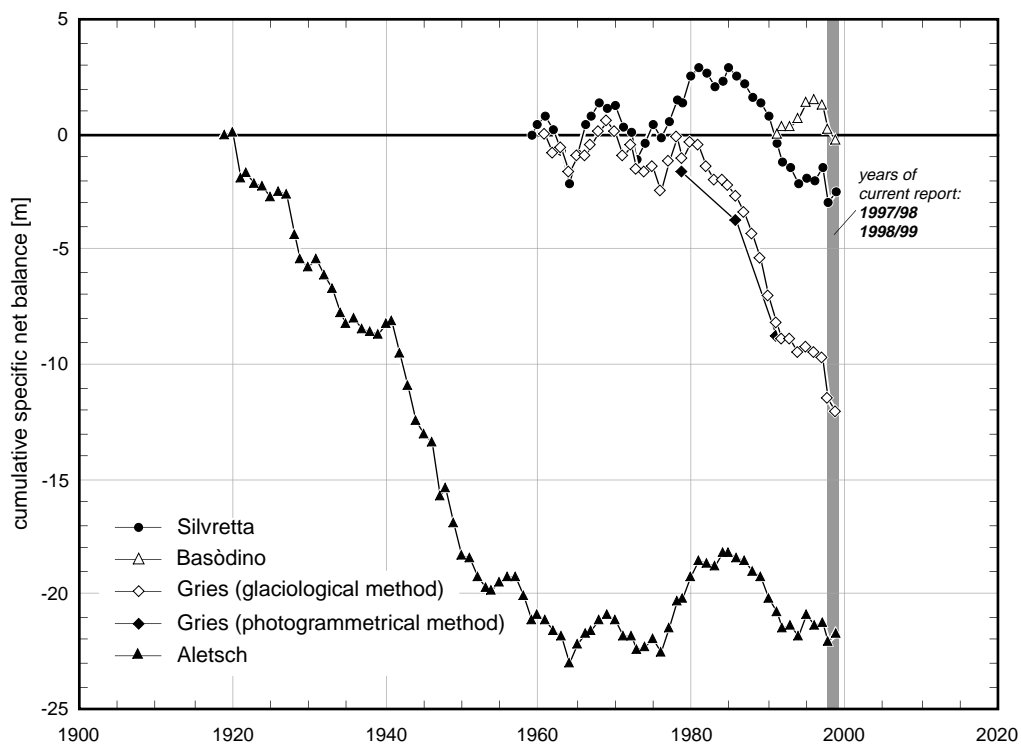


Figure 3.2: Cumulative specific net balance over the whole observation period for Silvretta, Basòdino, Gries and Aletsch Glaciers.

3.2 Mass Balance in 1997/98

The summer of 1998 can be considered extraordinary in terms of the mass balance losses of the glaciers. According to the statistics of MeteoSwiss, 1998 was the third-warmest year in Zurich since 1864. The extremely warm periods during the months of July and August in particular resulted in record melting values being measured on many of the glaciers included in the mass balance studies. For example, on the Silvrettagletscher a mass balance of - 1.53 m was measured, which will be entered in the measurement annals as a record value for the period since 1959 (Figure 3.2 and Tables 3.1 and 3.2). The Griesgletscher near the Nufenen Pass no longer had an accumulation area in the year under report. The entire glacier, right up to the Blinnenhorn, was under the influence of extreme melting. The resulting figure of - 1.66 m was in 2nd place as a negative mass balance figure, putting it only slightly behind the record value of - 1.74 m from 1990. By contrast, the mass balance of the Aletschgletscher was not a record value. The mass balance determined using the hydrological method was in the negative sector, with a value of - 0.83 m.

Further measurements indicate that the year in question was an extreme one. One example is presented by the Glacier de Giéto in the Val de Bagnes, where accumulation (mass gain) and ablation (mass loss) have been measured since 1966 at several stake locations. At the uppermost measurement site at 3300 m a.s.l., dominated in normal years by snow accumulation, more than one meter of firn- and ice-melt was observed (cf. also Chapter 4.3). It was, indeed, due to the cold and rainy September that the mass losses of the Swiss glaciers were not even greater. In summary it can be stated that the 1998 hydrological year will go down in history as one of the years with the most negative mass balance since measurements were begun of the Swiss glaciers.

3.3 Mass Balance in 1998/99

A rather inconsistent picture emerges from the mass balance results of this year. At the Silvrettagletscher in the Grisons Alps, which was barely snow-free this year, there was a mass increase of + 0.52 m water equivalent. At the Griesgletscher in the Nufenen region, the mass balance was negative, at - 0.58 m, in spite of great amounts of snow in the winter. The Basòdino also had a negative mass balance at -0.44 m. Aletschgletscher, where the hydrological method was used, had a positive mass balance of + 0.24 m. It can be concluded from the MeteoSwiss weather data (Figures 1.2a and b) that the higher precipitation values in the north were possibly responsible for the variation in mass balance values for the glaciers. In addition, summer temperatures were extremely high, though the weather in the Swiss midlands was not favourable for swimming, with the result that even the large quantities of snow, especially in the south, could not compensate for this excess melt.

3.4 Summary Tables

Table 3.1: Summary Table (area, specific net balance, ELA, ELA₀, AAR, AAR₀).

Glacier	area [km ²]	b ₉₈ [mm]	b ₉₉ [mm]	ELA ₉₈ [m a.s.l.]	ELA ₉₉ [m a.s.l.]	ELA ₀ [m a.s.l.]	AAR ₉₈ [%]	AAR ₉₉ [%]	AAR ₀ [%]
Gries	6.194 ^a	-1660	- 580	>3400	2979	2833	0	44	55
Silvretta	3.009 ^b	-1530	+ 520	>3150	2654	2755	0	79	57
Aletsch	126.66 ^c	- 823	+ 243						
Basòdino ^d	2.4	-1074	- 440	>3200	3100		0	5	

a Measured in 1991.

b Measured in 1994.

c Value estimated 1999 from the annual length change measurements at Grosser Aletsch [Kasser et al., 1986].

d Corrected values for b₉₆: +166 mm; and b₉₇: -188 mm.

3. MASS BALANCE

Table 3.2: *Gries and Silvretta Glaciers - Net balance 1997/98 and 1998/99 versus altitude and stake values.*

Gries - Measuring period: 9.9.97-4.9.98; 4.9.98-10.9.99

cf. Figure 3.3a

Altitude [m a.s.l.]	Area 1991 [km ²]	Specific net balance		Stakes	Year	
		1997/98 [mm]	1998/99 [mm]		1997/98 [mm]	1998/99 [mm]
2400 - 2500	0.153	- 4640	- 3210	1	- 258	- 77
2500 - 2600	0.805	- 3630	- 2350	2	- 203	- 33
2600 - 2700	0.619	- 2770	- 1610	3	- 131	+ 36
2700 - 2800	0.457	- 2060	- 980	4		
2800 - 2900	0.658	- 1500	- 480	5		
2900 - 3000	0.994	- 1100	- 90	6	- 400	- 207
3000 - 3100	1.600	- 840	+ 170	7	- 390	- 304
3100 - 3200	0.692	- 680	+ 330	8	- 374	- 209
3200 - 3300	0.206	- 530	+ 450	9	- 410	- 320
3300 - 3400	0.010	- 380	+ 570	10		
2400 - 3400	6.194	- 1660	- 580			

Silvretta - Measuring period: 16.9.97-25.9.98; 25.9.98-10.9.99

cf. Figure 3.4a

Altitude [m a.s.l.]	Area 1994 [km ²]	Specific net balance		Stakes	Year	
		1997/98 [mm]	1998/99 [mm]		1997/98 [mm]	1998/99 [mm]
2400 - 2500	0.021	- 4720	- 1900	1	- 90	+ 194
2500 - 2600	0.370	- 3360	- 850	2		+ 94
2600 - 2700	0.451	- 2280	- 30	3		
2700 - 2800	0.770	- 1490	+ 560	4		+ 50
2800 - 2900	0.623	- 990	+ 920	5	- 142	- 2
2900 - 3000	0.596	- 670	+1160	6	- 221	- 12
3000 - 3150	0.178	- 390	+1390	7	- 340	
2400 - 3150	3.009	- 1530	+ 520	8		- 76

3.5 Griesgletscher (Aegina)

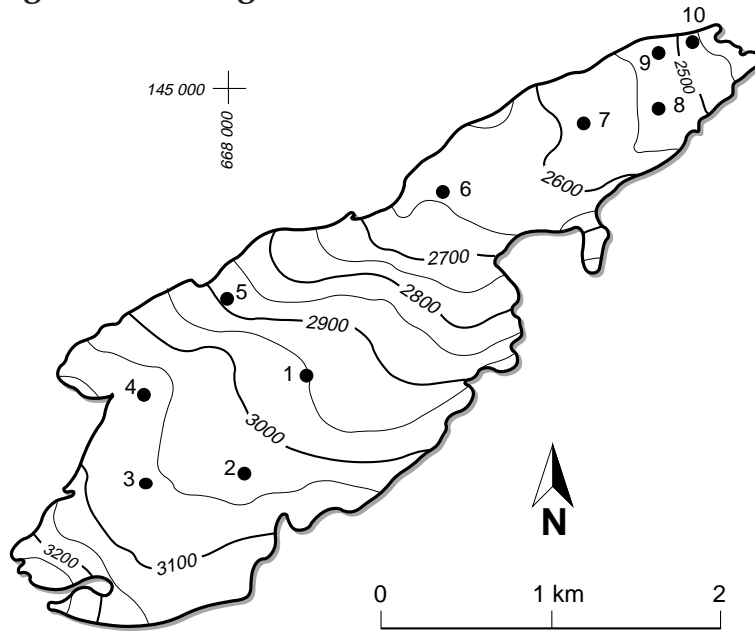


Figure 3.3a: Topography and observational network of the Griesgletscher.

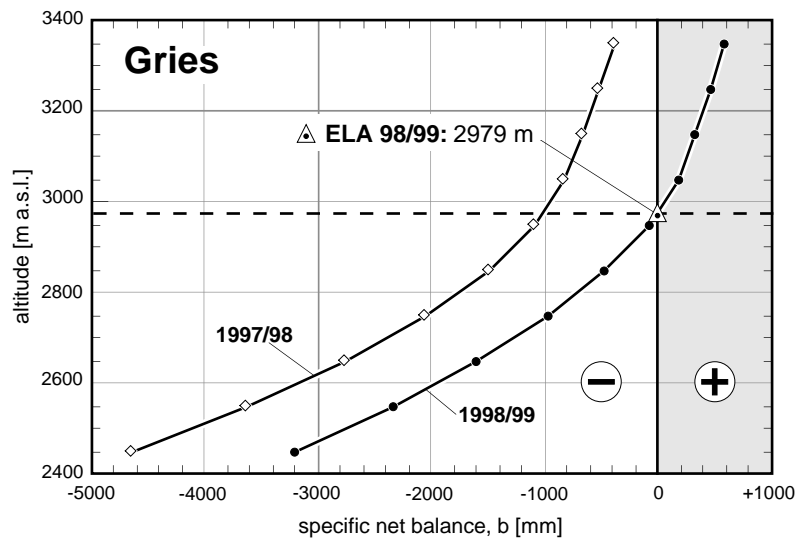


Figure 3.3b: Mass balances 1997/98 and 1998/99 versus altitude.

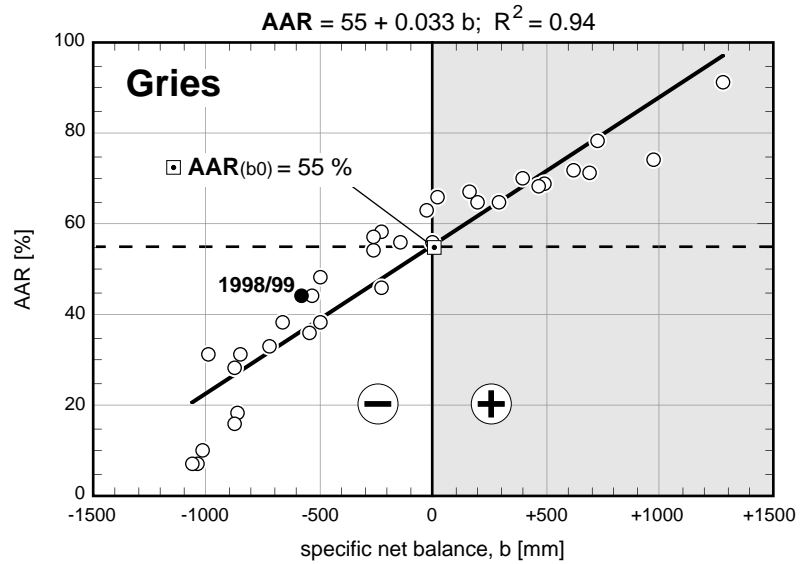


Figure 3.3c: Accumulation area ratio (AAR) versus specific net balance for the whole observation period.

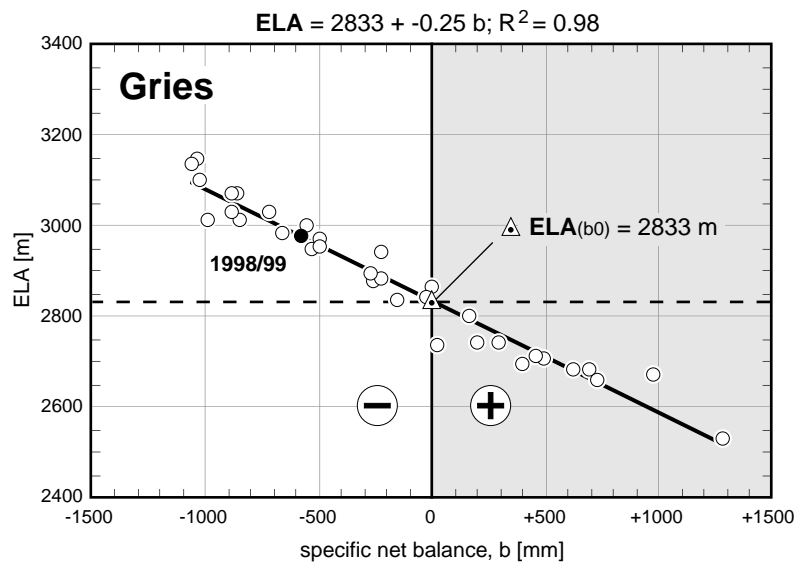


Figure 3.3d: Equilibrium line altitude (ELA) versus specific net balance for the whole observation period.

3.6 Silvrettagletscher

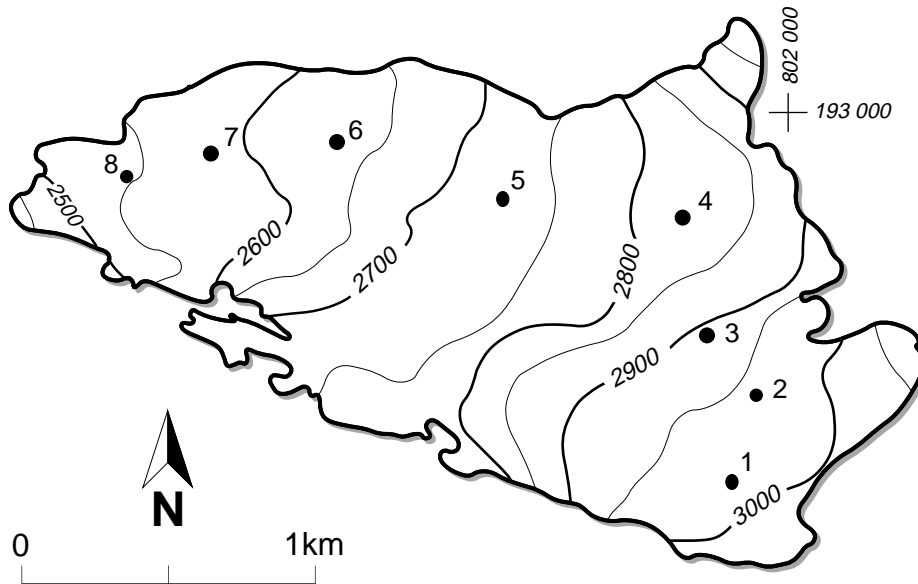


Figure 3.4a: Topography and observational network of the Silvrettagletscher.

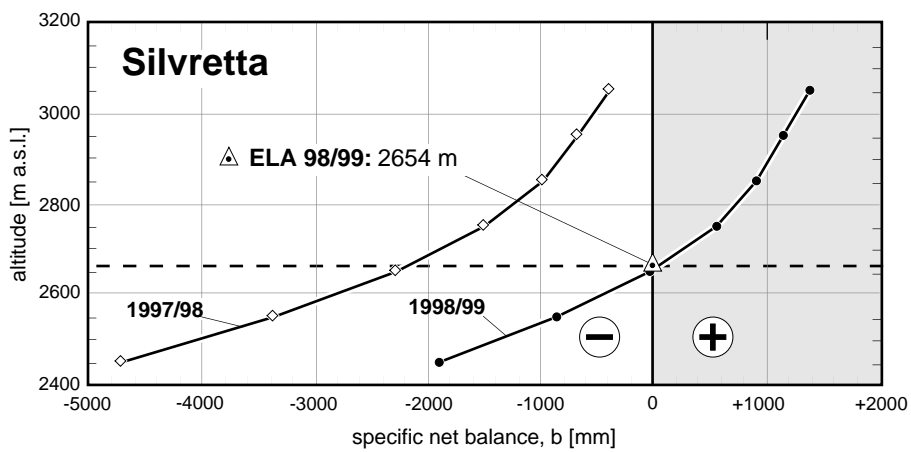


Figure 3.4b: Mass balances 1997/98 and 1998/99 versus altitude.

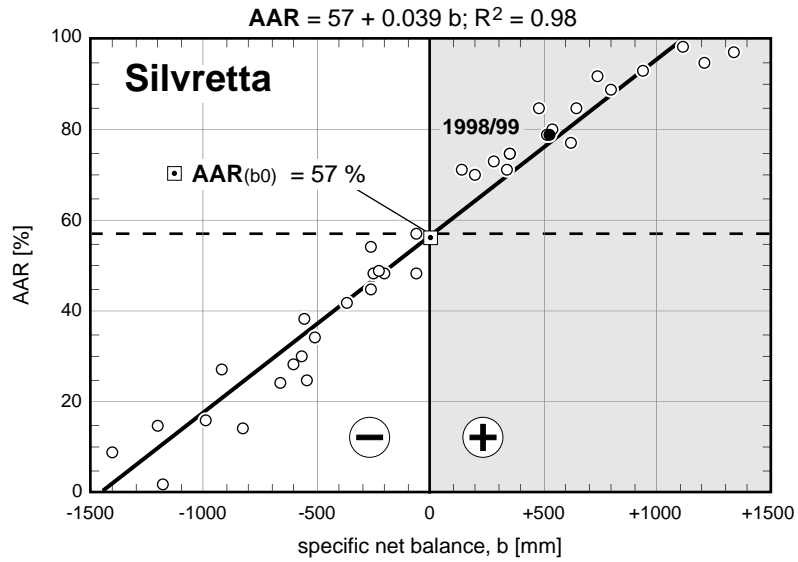


Figure 3.4c: Accumulation area ratio (AAR) versus specific net balance for the whole observation period.

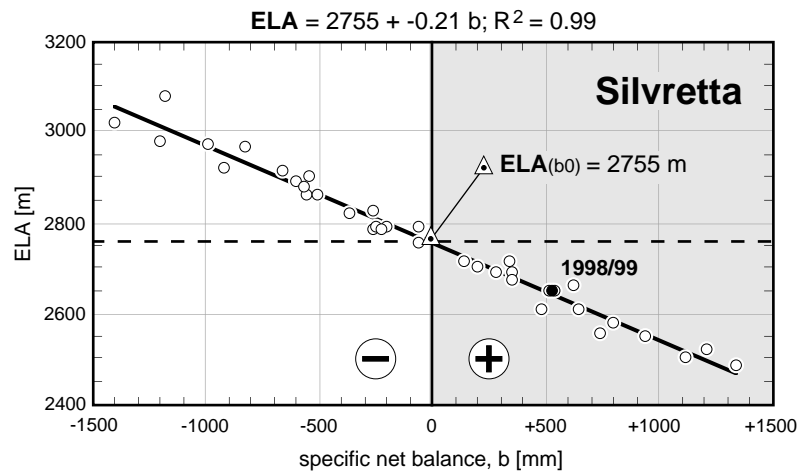


Figure 3.4d: Equilibrium line altitude (ELA) versus specific net balance for the whole observation period.

3.7 Ghiacciaio del Basòdino (Ticino)

The Ghiacciaio del Basòdino (2.4 km²) in the southern part of the Swiss Alps is located on a slope plateau and is the largest surveyed glacier of the southern Swiss Alps (Figure 3.1 and Photo 3.3). Its extension stretches from the summit of Basòdino Peak (3272 m) down to the rather wide tongue (2520 m in 1995). To the West there is the smaller Ghiacciaio del Caveragno, still in contact with the main body [Kappenberger and Aellen, 1998].

The variation of the length has been regularly measured since 1892 by the Ticino forest department. The cartographic documentation goes back to the middle of last century. The wide front of the glacier which advanced a little during the last decades, is now stationary with a tendency to retreat.

The surface topography was determined 8 times using different maps starting in 1851 when its area was twice the value of today [Kappenberger et al., 1995; Aellen et al., 1996] and its tongue reached Zött lake, an artificial basin, at that time a flat valley-bottom. The variation of thickness during the last 60 years was determined using 5 different photogrammetric data sets. The main thickness reduction (about 10 m) occurred between 1979 and 1991. Since 1992 mass-balance measurements are made by the direct glaciological method (Table 3.1 and Figure 3.2). Those values are compared with the geodetic ones.



Photo 3.3:
View of the ghiacciaio del Basòdino seen from North.
(Photo: G. Kappenberger)

4 Velocity of Some Specific Glaciers

4.1 Introduction

From 1924 until 1998 the ablation areas of the Aare glaciers (Figure 4.1) were geodetically measured each year by the Flotron AG geodetic surveying firm on behalf of the Oberhasli hydro-electric power company. Detailed information with annual values for 1997/98 in the ablation area is contained in the reports on the measurement of the Aare glaciers [Flotron AG, 1998] (Tables 4.1 and 4.2). For the year 1998/99, measurements were done by the Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW) of the Swiss Federal Institute of Technology, Zurich (ETHZ). Only the Unteraargletscher profiles were processed for this year, because no aerial photographs were taken of the Oberaargletscher.

Since 1966, the VAW/ETHZ has been under contract by the Force Motrice de Mauvoisin SA to survey the glaciers in the Val de Bagnes area in the lower part of the Valais. The main objective of this research assignment is to observe the flow conditions of the glaciers, particularly with regard to their potential threat to the operation of the power station in the valley. The observations are mainly focused on the two glaciers, Giétro and Corbassière (Chapter 4.3 and 4.4).

4.2 Aare glaciers

4.2.1 Aare glaciers in general

Starting in 1996, aerial photographs of the Aare glaciers were revised and combined into an ortho-photo mosaic, a process which opens up new possibilities for the evaluation of glacier movements. Digital terrain models have been further refined since 1997, allowing even more detailed representations of local ablation and accumulation to be made.

The use of digital photogrammetry has made it possible to improve the resolution of the digital terrain model. As of the report from the year 1997/98, the grid size of the measured points is 7 m for the first time, as compared with 50 m (including the breakline (terrain edges), measured in addition) for previous years.

4.2.2 Aare glaciers 1997/98 - Changes in thickness and movement

The observation period of 390 days is somewhat more than one year, and includes the month of August twice, in 1997 and in 1998. Nevertheless, it is possible to directly compare these results with those of previous years.

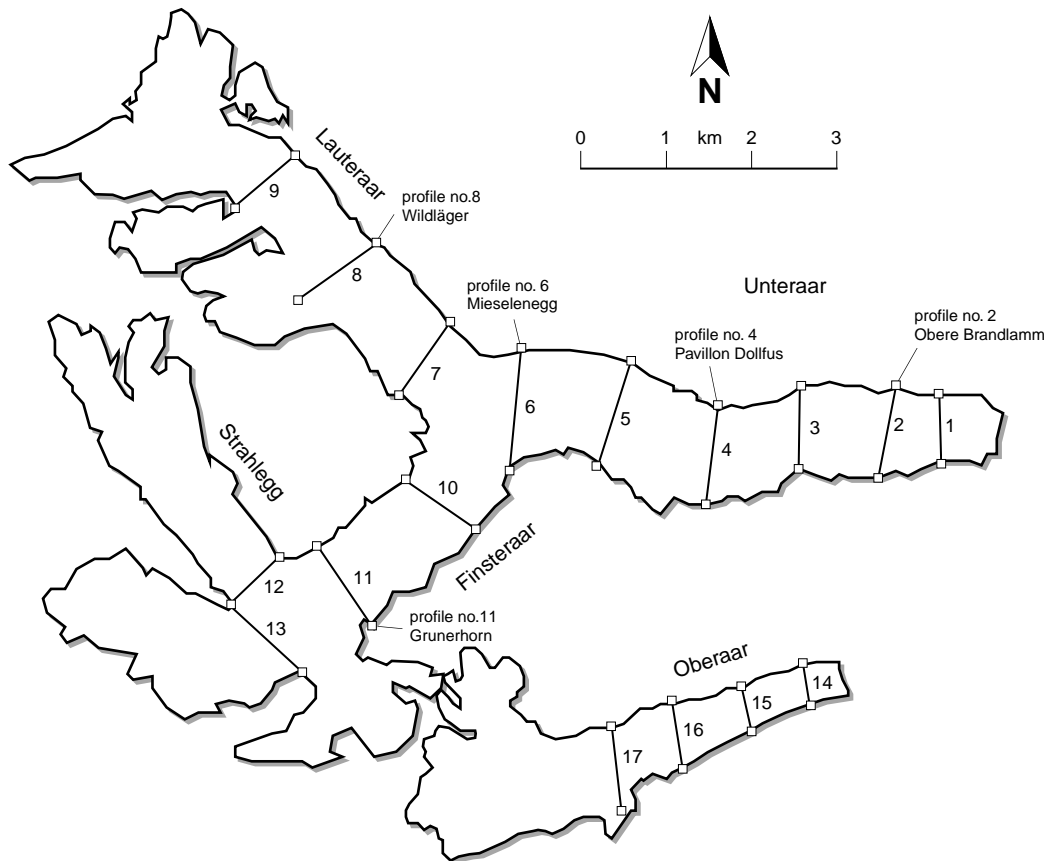


Figure 4.1: Glacier boundaries and geodetic profiles of the Aare glaciers.

The immense reduction in glacier size in the terminus areas and in the higher elevational zones of the glacier can be observed clearly with the aid of ortho-photos, contour line maps and cross-sectional profiles. The mean lowering of the Unteraargletscher and the Oberaargletscher amounts to 4.2 m and 5.1 m respectively, relating to the entire surface of 13.71 km², and 1.53 km², which corresponds to a loss in volume of 58.4 million m³ and 7.9 million m³, respectively. This loss represents the greatest annual change in volume since measurements were begun 30 years ago. The enormous retreat of the termini, together with the large mass loss, is approximately the same as the amount measured in the past 3 to 4 years combined.

The flow velocities have not changed significantly. This time they were more difficult to measure in general, as the shadows did not fall in an identical way in the photographs for the months of August and September.

4.2.3 Aare glaciers 1998/99 - Changes in thickness and movement

It was not possible, unfortunately, to complete the entire programme for this year, as some of the flights were cancelled for financial reasons. Thus the evaluation programme was somewhat limited, with the main focus on the Unteraargletscher. Although they were not carried out this time by the Flotron geodetic surveying company, but by the VAW/ETHZ, it is planned for next year to have the evaluations done as previously by Flotron AG.

In contrast to the year 1997/98, which was notable for extremely negative elevational and volume changes, the changes for the year 1998/99 were less negative. Nevertheless, the loss of volume amounted to approx. 9.5 million m³, just slightly higher than the figure for 1996/97 of 8.2 million m³. The elevational changes in the individual profiles are also not nearly as negative as in the year 1997/98. Still, the elevational changes in profiles 2 through 6 amount to between 1 and 2 m. Only in profiles 8, 9 and 13 is there an elevational gain of 1.8 to 3.4 m. It was, unfortunately, not possible to evaluate the velocities for this measurement period.

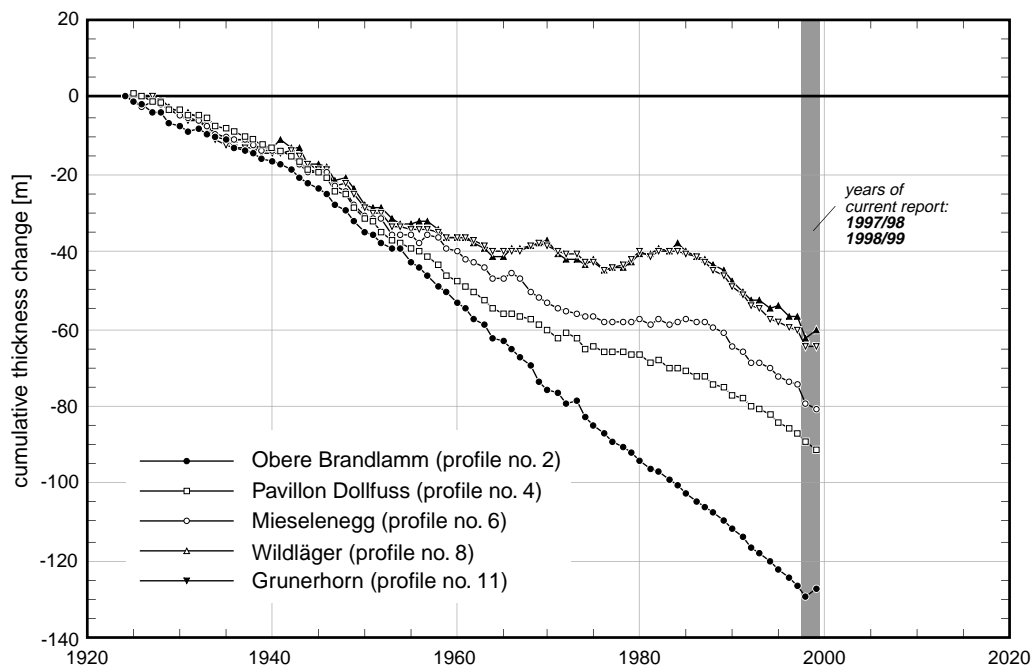


Figure 4.2: Cumulative annual thickness changes since 1924 for five selected transverse geodetic profiles (Figure 4.1).

4.2.4 Summary Tables

Table 4.1a: *Change of thickness and velocity of the Aare glaciers in 1997/98.
Measuring period: 5.8.97 - 9.9.98*

Glacier	Profiles	glacier surface		glacier movement		
		altitude 1998 [m a.s.l.]	altitude changes [m]	displacement max [m]	velocity max [m/a]	velocity change [m/a]
Unteraar	Z glacier tongue 1998					
	1	1933.8	-2.2	1.7	1.6	- 1.4
	2 Obere Brandlamm	2001.9	-3.3	3.1	2.9	- 2.9
	3	2103.5	-3.2	18.7	17.5	+ 0.6
	4 Pavillon Dollfuss	2196.1	-2.5	26.0	24.3	+ 0.3
	5	2268.1	-3.2	32.2	30.1	+ 0.2
Lauteraar	6 Mieselenegg	2342.1	-4.5	38.8	36.3	+ 1.1
	7	2411.1	-3.8	35.5	33.2	- 0.1
	8 Wildläger	2495.4	-5.7	18.2	17.0	-28.9
Finsteraar	9	2624.9	-5.9			
	10	2431.2	-3.6	39.4	36.9	+ 1.5
	11 Grunerhorn	2540.8	-3.9	49.0	45.9	+ 0.5
	12 Strahlegg	2609.6	-4.6	29.9	28.0	
Oberaar	13 Finsteraar	2636.4	-5.5			
	z glacier tongue 1998					
	14 Middle Profile	2336.1	-3.8	4.9	4.6	- 0.8
	15 Upper Profile	2465.3	-4.4	8.0	7.5	- 0.8
	16 Uppermost Profile	2543.1	-5.7	14.6	13.7	- 0.9
	17	2658.7	-4.1	30.7	28.7	+ 3.3

Table 4.1b: *Change of area and volume of the Aare glaciers in 1997/98.*

Profile	area change [m ²]	volume change [10 ³ m ³]	Profile	area change [m ²]	volume change [10 ³ m ³]
Unteraar			Finsteraar		
Z - 2	-38550	- 2127.88	10 - 11		- 6372.01
2 - 3		- 3587.09	11 - 12/13		- 6466.82
3 - 4		- 3652.53	Z - 9/12/13		-58450.68
4 - 5		- 5024.98			
5 - 6		- 5001.58	Oberaar		
6 - 7/10		- 9309.60	Z - 15	- 5270	- 1948.52
Lauteraar			15 - 16		- 2953.90
7 - 8		- 8057.40	16 - 17		- 3020.02
8 - 9		- 8850.81	z - 17		- 7922.44

4. VELOCITY OF SOME SPECIFIC GLACIERS

Table 4.2a: Change of thickness and velocity of the Unteraargletscher in 1998/99.
Measuring period: 9.9.98 - 8.9.99

Glacier	Profiles	glacier surface	
		altitude 1999 [m a.s.l.]	altitude changes [m]
Unteraar	Z glacier tongue 1999		
	1	1934.3	+0.5
	2 Obere Brandlamm	2001.9	-1.2
	3	2103.5	-1.2
	4 Pavillon Dollfuss	2196.1	-1.8
	5	2268.1	-1.9
Lauteraar	6 Mieselenegg	2342.1	-1.6
	7	2411.1	-0.4
	8 Wildläger	2495.4	+1.9
Finsteraar	9	2624.9	+3.4
	10	2431.2	-1.3
	11 Grunerhorn	2540.8	0.0
	12 Strahlegg	2609.6	+0.8
	13 Finsteraar	2636.4	+2.1

Table 4.2b: Change of volume of the Aare glaciers in 1998/99.

Profile	volume change [10 ³ m ³]	Profile	volume change [10 ³ m ³]
Unteraar		Finsteraar	
Z - 2	- 619.79	10 - 11	- 1029.43
2 - 3	- 1503.99	11 - 12/13	- 434.77
3 - 4	- 1536.35	Z - 9/12/13	- 9505.48
4 - 5	- 2083.60		
5 - 6	- 2082.75		
6 - 7/10	- 2286.08		
Lauteraar			
7 - 8	+ 275.41		
8 - 9	+ 1795.87		

4.3 Glacier de Giéto

One of the longest measurement series in existence, for Glacier de Giéto in Val de Bagnes (Valais), is being continued under contract of the Force Motrice de Mauvoisin SA. The aim of these annual observations is the early recognition of glacier break-off, which can endanger the dammed lake located below it. The measurements, which have been carried out for more than 30 years, include periods of glacier growth and recession [VAW, 1997]. Figure 4.3 shows the velocity measurements at 8 stakes along the central flow line of the glacier, taken since 1966. There are 3 distinct periods: in the first (1966-1976), the velocities in the accumulation area (stakes 1, 2 and 4) are approximately 5-7 m per year, in the middle region of the glacier (stake 6) about 80-95 m per year and in the tongue area (stakes 8 and 10) they are in the range of 55-70 m annually. The second period (1977 to 1982) is marked by a distinct acceleration phase, in which the speeds (for example, at stake 6) increase from 80 m to 120 m per year. From the middle of the 1980s onward, the velocities decrease sharply again and in the last year have reached the lowest values measured since 1966 (Table 4.3).

Radar measurements were carried out in the spring of 1997 at the Glacier de Giéto, serving as the basis for a numerical model [Vieli et al., 1997]. The future behaviour of the glacier tongue is being investigated at present on the basis of this model [VAW, 1998].

At the uppermost measurement site at 3300 m a.s.l., dominated in normal years by snow accumulation, more than one meter of firn- and ice-melt was observed in the autumn of 1998.

The measurements taken since 1966 reveal that flow velocities had never been as low as they were in the measurement period of 1998/99. As an example, velocities at stake 6 in the upper sector of the ablation region at Glacier de Giéto in 1982 were almost 120 m per year, whereas in the year 1998/99 the glacier achieved a flow velocity at the stake of approx. 55 m per year. This means that the flow rate of the glacier has been reduced by more than half in the last 18 years.

Table 4.3: Annual flow velocities of the Glacier de Giéto at all 7 stakes (stake no. P11 doesn't exist anymore).
Measuring period: 15.9.97 – 31.8.98; 31.8.98 – 2.9.99

year	velocities at stake						
	P1 [m/a]	P2 [m/a]	P4 [m/a]	P5 [m/a]	P6 [m/a]	P8 [m/a]	P10 [m/a]
1998	5.3	11.5	18.9	37.0	59.7	31.0	36.7
1999	5.2	10.9	16.6	28.1	55.7	26.0	25.3

4. VELOCITY OF SOME SPECIFIC GLACIERS

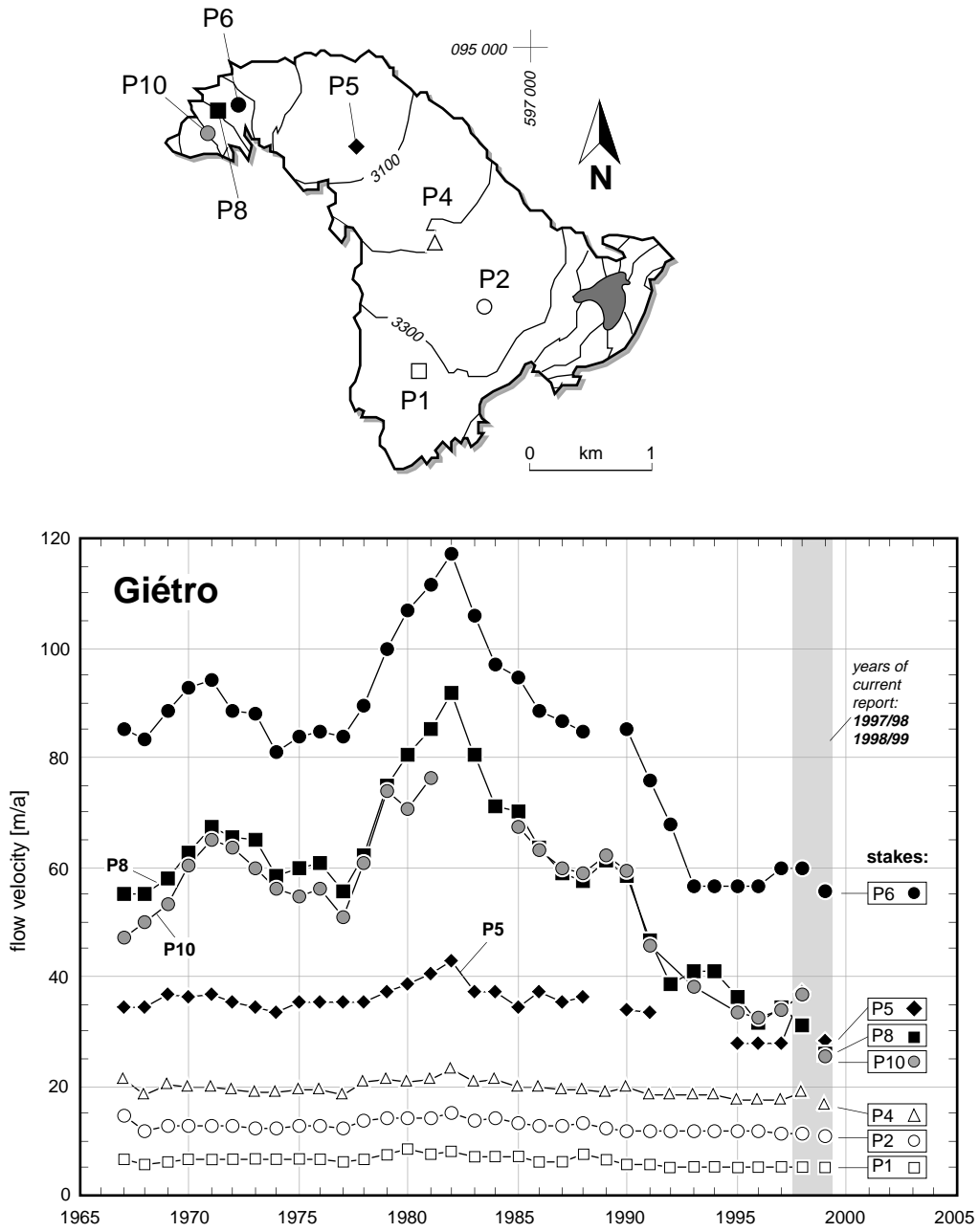


Figure 4.3: Annual flow velocities of the Glacier de Giétro at all 7 stakes. (Stake no. P11 no longer exists).

4.4 Glacier de Corbassière

Glacier de Corbassière has been under observation since 1955 by taking length change measurements. This glacier is endangering the water catchment of the Mauvoisin power company at the front of the tongue. In the ablation area of the glacier, two profiles made by stakes are observed annually to determine the velocities. Figure 4.4 shows the annual velocities for the two profiles since 1967.

The same trend as for the Glacier de Giétro has been established here. These reductions in velocity can occur simultaneously with the thickness loss in the glacier during its retreat phase.

Table 4.4: Annual flow velocities of the Glacier de Corbassière at all 6 stakes. Measuring period: 15.9.97 – 31.8.98; 31.8.98 – 2.9.99

year	velocities at stake					
	A1 [m/a]	A2 [m/a]	A3 [m/a]	B1 [m/a]	B2 [m/a]	B3 [m/a]
1998	25.7	22.5	11.2	26.4	32.8	32.6
1999	23.2	21.0	9.3	25.4	31.1	30.7

4. VELOCITY OF SOME SPECIFIC GLACIERS

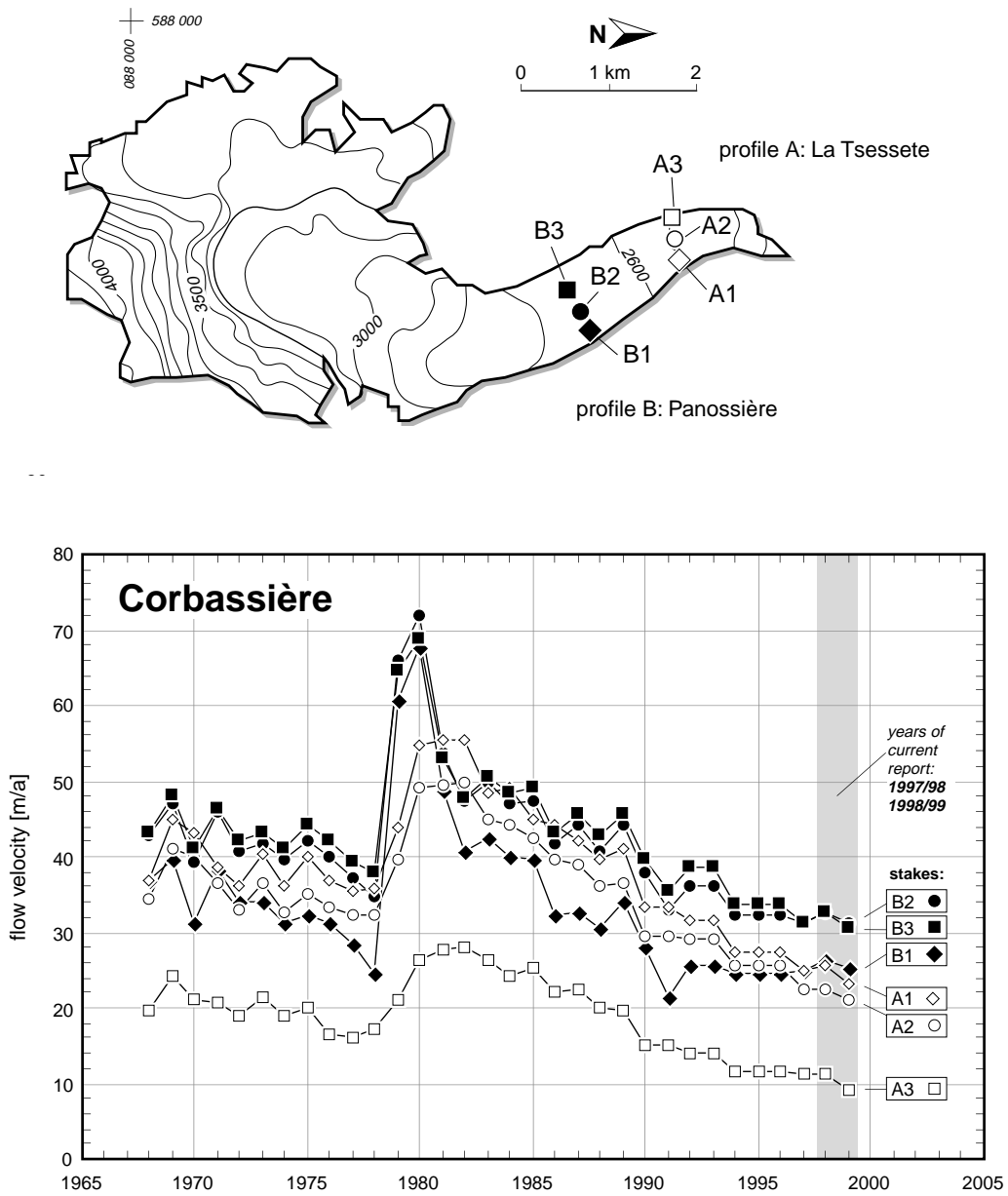


Figure 4.4: Annual flow velocities of the Glacier de Corbassière at two profiles with 3 stakes each.



Photo 4.1:
In order to obtain measurements of the terminus of the Glacier de Corbassière (VS) which cannot be measured directly, a fixed point is marked on the protruding rock and the terminus measured from this point. Photogrammetric surveys of the glacier terminus have been conducted since 1998. (Photo: D. Vonder Mühll)

5 Snow and Firn Accumulation

5.1 Claridengletscher

Measurements of the snow and firn accumulation, as well as of precipitation values in the accumulation area of the Claridengletscher, have been undertaken by various researchers since 1914. By digging a snowpit down to the layer of ochre applied the previous autumn and measuring the water equivalents, mass balances were determined every autumn since 1957 and also regularly in spring at two plateau locations at altitudes of 2700 and 2900 m a.s.l.

The reports dealing with the years 1914 to 1978 are published in Kasser et al. [1986]. The method of measurement and the results from the period 1914-1984 are published in Müller and Kappenberger [1991].

5.1.1 Investigations in 1997/98

The spring measurements for 1998 were done on May 24th and the fall ones on September 2nd. The figures for summer 1998 show enormous melting. There was no new snow and all the firn was melted away. Since 1914, a negative balance was recorded at the upper stake only in the years 1921, 1947 and 1951 (Table 5.1).

5.1.2 Investigations in 1998/99

The spring measurements were done on May 23/24th and the fall investigations took place on September 2-4th (Table 5.2). The water equivalent of the spring measurements is a new record for the whole investigation period. The value obtained in fall had been recorded also several times in the past. The summer period was characterized by warm temperatures and strong ablation (Table 5.2).

Table 5.1: *Snow and firn accumulation, change in thickness and movement of the Claridengletscher in 1997/98.*

Measuring period		Measuring site		Snow or firn increase			Change in thickness	Horiz. movement
from	to	stake	altitude [m a.s.l.]	[cm]	[cm w.e.]	[g/cm ³]	[m]	[m]
Winter								
16.9.97	24.5.98	lower	2700	363				
16.9.97	24.5.98	upper	2900	365	174	0.476		
Year								
16.9.97	2.9.98	lower	2700	-145	-100	0.700	-2.9	+3
16.9.97	2.9.98	upper	2900	-20	-14	0.700	-2.4	+10.5

Table 5.2: Snow and firn accumulation, change in thickness and movement of the Clariden-gletscher in 1998/99.

Measuring period from	to	Measuring site stake	altitude [m a.s.l.]	Snow or firn increase			Change in thickness [m]	Horiz. movement [m]
				[cm]	[cm w.e.]	[g/cm ³]		
Winter								
2.9.98 - 24.5.99		lower	2700	690				
2.9.98 - 24.5.99		upper	2900	720	338	0.470		
Year								
2.9.98 - 3.9.99		lower	2700	255	143*	0.560*	+1.7	3
2.9.98 - 3.9.99		upper	2900	373	209	0.560	+1.7	11

* Extrapolated from the upper stake value.

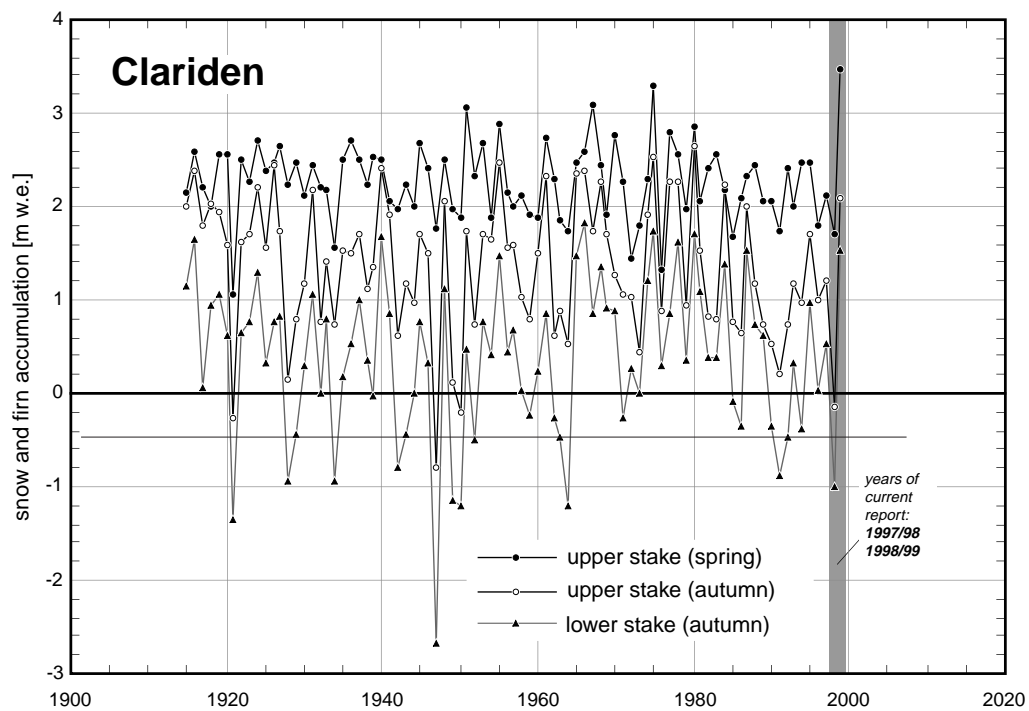


Figure 5.1: Snow and firn accumulation changes on the upper and lower stake on Clariden-gletscher over the whole observation period.

6 Special Glaciological Research Project

6.1 Characteristics and Retreat of the Swiss Measurement Network Glaciers since 1850 (prepared by M. Maisch)

Representativity of the Swiss Glacier Measurement Network

The question has been raised, justifiably, as to the degree to which the Swiss glacier measurement network can be said to be representative, in terms of the relationship of the available random sample (> 100) to the total amount (> 2000). This, however, was not of paramount importance when the Swiss glacier measurement network was initially established. For understandable reasons, the focus was on the glaciers which were easily accessible, namely the mid-size and largest glaciers of Switzerland, and as a result, these glaciers are over-represented in our measurement network. Thus it is not easy to assess just how representative the present random sample really is. Can this chosen quantity actually be a reliable indicator of the mean volume, surface or length of all glaciers? If one looks only at the volume figures, it can be ascertained that the five largest glaciers in the measurement network together account for approx. 40% of all Swiss glaciers.

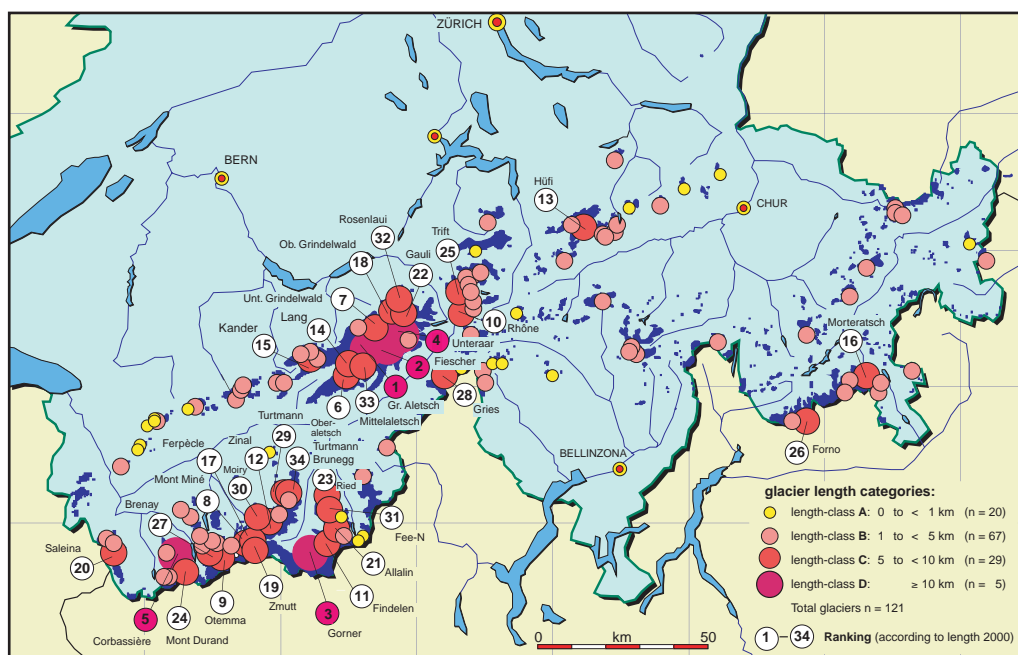


Figure 6.1: Map showing the glaciation of the Swiss Alps and the location of the 121 glaciers in the measurement network with their length classification. The numbers indicate the ranking of the 34 longest glaciers (with respect to the "2000" length value).

From Maximum Extent to Retreat Scenarios

Within the framework of the National Research Programme (NRP 31) on Climate Changes and Natural Disasters, a project was conducted at the University of Zurich focusing on Swiss glaciers and their changes since the middle of the 19th century (maximum extent: 1850). All of the glaciers and ice surfaces were parameterized meticulously using a standard method. A detailed analysis and inventory were made of three “time windows” of particular significance from a glacial history point of view: 1. the maximum extent situation of 1850 (“the past”), 2. the situation (“the present”) documented in the 1973 glacier inventory [Müller et al., 1976], and 3. the calculation of various retreat scenarios for the 21st century (“the future”). The results of this study, the product of a concerted scientific effort, are published in a final report [Maisch et al., 1999a]. The 121 glaciers in the Swiss observation network, with their glaciological data, are also included in this study, resulting in an overview of the total extent of glaciation and its changes since 1850 and a special look at the measurement network glaciers.

Significant Retreat since 1850

The moraine walls left behind and the debris-rich pro-glacial areas are impressive indicators that some of the glaciers of the Swiss Alps have retreated very significantly since the last period of maximum extent. Seen as a whole, the observed temperature increase acted to reduce the glaciated sur-



Photo 6.1:

The Dungenlgletscher north-east of Wildhorn (BE) in the autumn of 1999. The maximum extent of the glacier during the “Little Ice Age” around 1850 is easily recognizable in the foreground. During the retreat phase, the rock head at the centre of the picture split the glacier into two sections, a relatively frequent occurrence at other glaciers as well. It does, however, make it more difficult to define the precise lower edge of the terminus, thus posing a problem to the surveyor of the glacier. The terminus of the eastern section of the Dungenlgletscher (left side of the photo) shows typical characteristics of a glacier retreat: flat, pointy shape, in this case with crevasse formation. (Photo: A. Wipf)

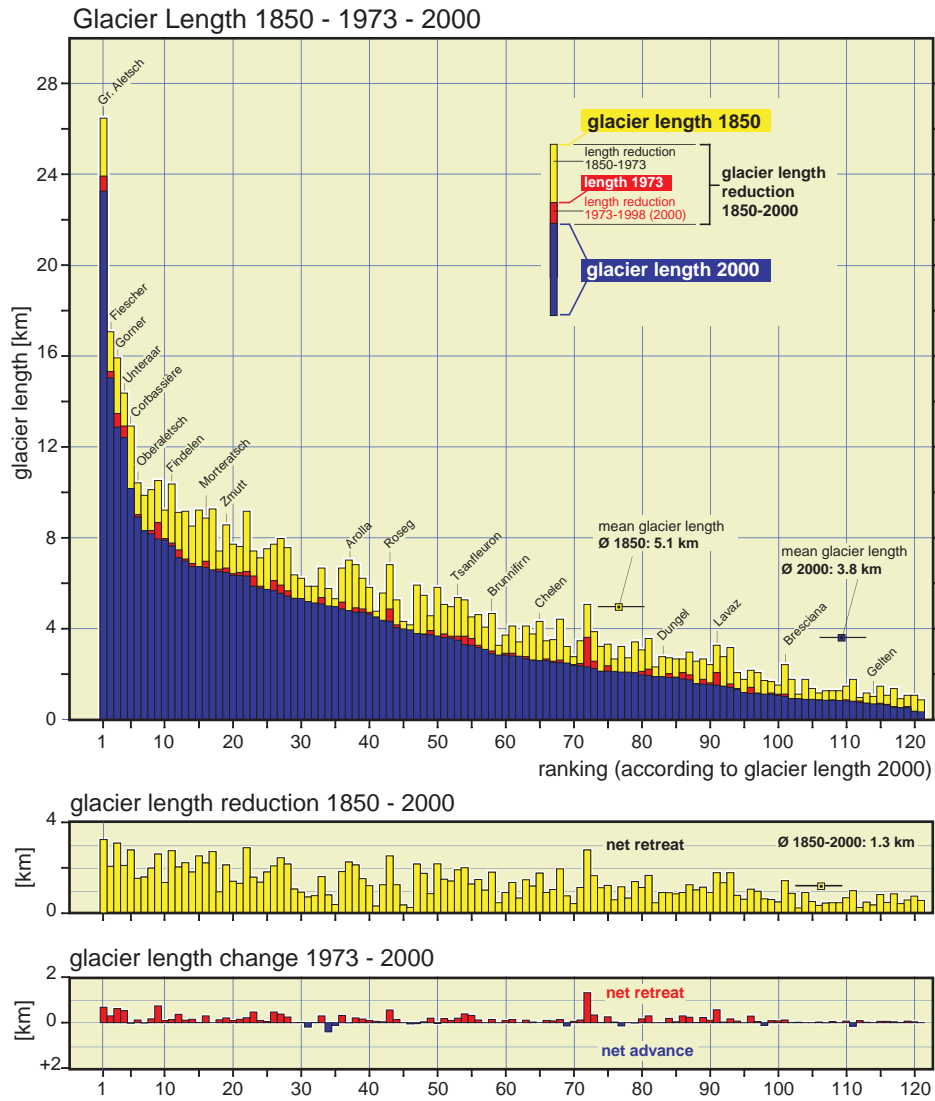


Figure 6.2: Length values and length changes of the glaciers of the Swiss observation network. The glaciers are listed in descending order with respect to their "2000" length value (blue column).

Data: - Observation network of the Glaciological Commission of the SAS
 - Glacier data base CH-INVGLAZ (NRP 31)

face of the Swiss Alps from 1800 km² to 1300 km² during this period of time, resulting in a 27.2% loss in original glacial extent, or approx. 500 km². In relation to the surface area of Switzerland (41,284.6 km²), this translates into a reduction from 4.4% to 3.1% of glaciated extent. Expressed in a “positive” way, the “glacier retreat of the century”, or the complementary increase in the pro-glacial areas, resulted in the emergence of ice-free new terrain amounting to 500 km², or approx. the surface area of the canton of Obwalden (490.6 km²).

Tongue-shaped Valley Glaciers a Rarity

Due to the topographical variations of the mountains and the wide regional differences in precipitation conditions, glaciation of the Swiss Alps is extremely uneven by nature. This applies equally to the geographical arrangement and to the imbalance in the dimensions of the various glaciers. Contrary to the commonly-held image, the classic, “schoolbook” tongue-shaped valley glacier is not the most common one. In fact, of the 2,164 individual glaciers that are documented, only 53 of them, or 2.4%, match this description. After this, with decreasing surface area, come the mountain glaciers, of which there are 374, or 17.3%, then the glacier patches, numbering 550, or 25.9%, and lastly the numerous but extremely tiny so-called firn patches, of which there are 1187 or 54.9%. The rather rare valley glaciers take up more than half of the entire glacial surface area of Switzerland (51.2% of approx. 1300 km²) and account for three-quarters (75.8%) of the estimated volume of ice, approx. 74 km³ in total.

Surface Retreat of the “Average Glacier”

At the time of the maximum extent period of 1850, the “average” Swiss glacier had an areal extent of approx. 1.1 km², and has since retreated 0.3 km² (or approx. 27%) to 0.8 km². In 1850, the extent of variation of the individual values ranged from 0.009 km² to 105.6 km² (Grosser Aletschgletscher). Thus the tiniest, still measurable, firn patch in 1850 was more than 11,000 times smaller than the largest glacier system (Grosser Aletschgletscher). In the reference year 1973, the values ranged from 0.0 km² (glacier totally gone, percentage surface retreat 100%) to 96.1 km², which takes into account those firn areas that are fully melted away.

Measurement Network Glaciers vs. Average Glaciers

The map in Figure 6.1 shows the location and at the same time the grouping of measurement network glaciers in length categories A to D (Figure 6.3 and Figures 2.3a-d) used for the evaluation of the annual length-change data. In the measurement network, Category B has the greatest numbers (length 1 to 5 km), coming up with 67 glaciers, or 55% of the total, in the random sample. Category A of the smallest glaciers (length value of less than 1 km) is clearly under-represented, with only 20 items (16.5%), as compared with the overall random sample of Switzerland. Categories C and D, without exception, contain all the longest glaciers in the Swiss Alps (as well as those with the largest surface area).

The dimensions of the measurement network glaciers are therefore also considerably greater, in accordance with their asymmetrical size structure. In 1850 the mean measurement network glacier still had an areal extent of 8.0 km² and was thus about seven times greater than the average glacier in Switzerland. However, the 1.4 km² retreat down to 6.6 km² corresponds to a loss of 17.5%. This behaviour is a direct result of the statistical bias of the large and long glaciers, which have a general tendency toward smaller diminuation values.

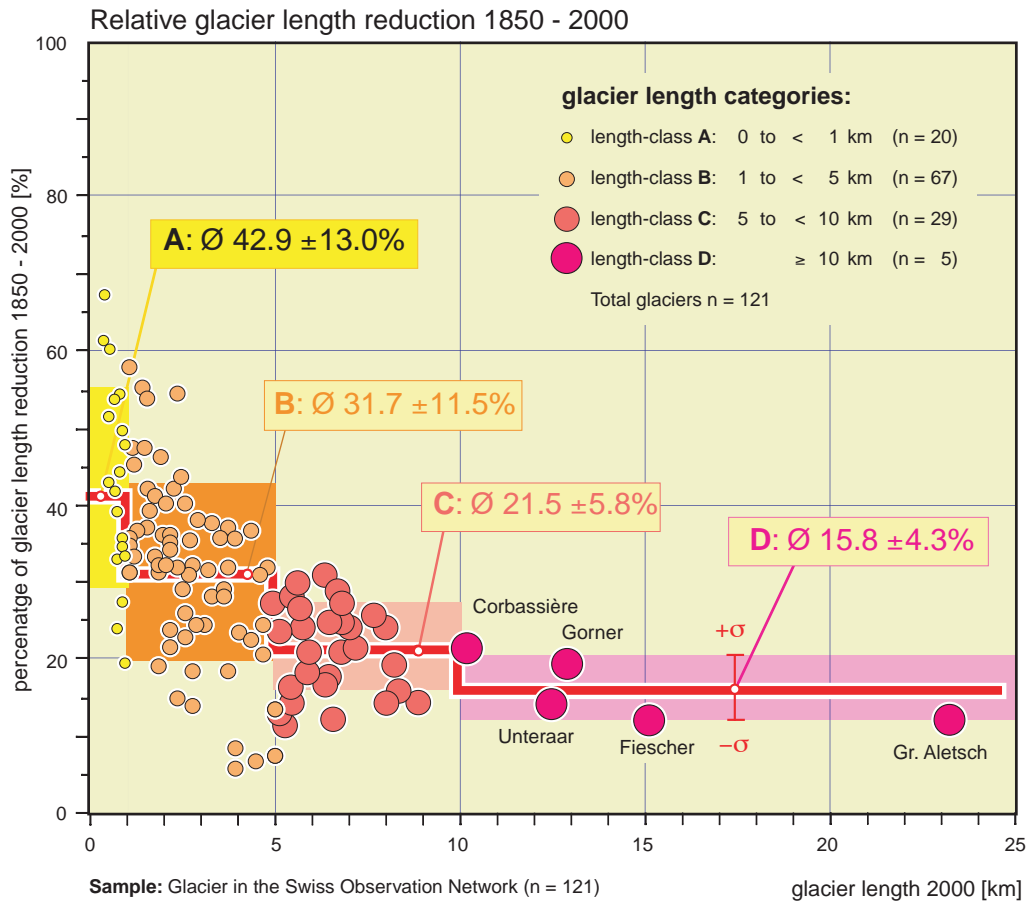


Figure 6.3: The relation between glacier length and percentage of length loss in the 1850 to 2000 time period. The glaciers are classified by length into one of the four categories A - D (Figures 2.3a-d), and the extended line indicates the mean value of the category.

“Ice Giants” dominate Length Spectrum

In the diagram in Figure 6.2, all 121 of the measurement network glaciers are listed according to their current length, in diminishing order (as in length value “2000”, blue column). The length loss values for 1850 to 1973 and the length changes for 1973 to 1998 are listed separately. The length changes were calculated differentially, based on the available measurement network data (Table 2.1), for the most recent development in the period from 1973 (inventory year) to 1998 (here as “2000”, for the sake of simplicity).

The length range depicted here is distinguished by the five “ice giants” of the length category D (length over 10 km). The Grosser Aletschgletscher heads the line-up (in 1850: 26.50 km; in 1973:



*Photo 6.2:
The Geltengletscher extends over a breadth of approx. 3 km and lies between Arpelistock, Geltenhorn and Wildhorn in the Bernese Alps. The snow is melted out to such an extent that the orographic left terminus can be defined clearly. It can be surmised that the glacier is in retreat simply on the basis of a visual assessment of the flat shape of the terminus. (Photo: A. Wipf)*

23.95 km; “2000”: 23.27 km), ahead of the Fieschergletscher (in 1850: 17.10 km; in 1973: 15.35 km; in “2000”: 15.05 km) and the Gornergletscher (takes 2nd place according to area), the Unteraargletscher and the Glacier de Corbassière. The network glaciers listed afterwards have an astonishingly uniform diminishing tendency in their current length.

The 121 network glaciers retreated further from 1973 to 1998 (maximum: Paradiesgletscher at -1320 m; minimum: Bruneggletscher with a net advance of +412 m). A majority of 93 glaciers had a net length loss, whereas an amazing figure of 18 glaciers experienced a net length increase, in contrast to the dominant overall trend. Ten of the network glaciers demonstrated no provable change (± 0 m, some of the measurement series up to 1998 still incomplete).

The 121 measurement network glaciers (in terms of numbers, 6% of all Swiss glaciers) cover an area of about 800 km² or 60% of the total glaciated area in Switzerland (of a total of approx. 1300 km²) and include, with an estimated 62 km³ in volume, close to 85% of the national ice reserves (approx. 74 km³). Approximately 30 km³ (over 40% of the ice volume in Switzerland) is contained alone in the five largest (longest) glaciers of Category D.

Glacier Length and Climate Change

The sequence of length change values (Figure 6.2 and Table 6.1) seen in the columns for the 1850 to 2000 time period clearly shows that the amount of the measured retreat values correlates directly with the glacier length. It was primarily the larger and longer glaciers in the measurement network that had to absorb the greater absolute length losses. However, measured against the original dimensions, these glaciers have a distinctly lower percentage of loss than the group of smaller glaciers. This relationship can be seen more clearly by juxtaposing the length data in question (Figure 6.3). It is very obvious here – with, however, an amazingly wide scattering of individual values – that the shorter network glaciers have significantly higher percentage losses (Category A: 42.9%; Category B: 31.7%). In contrast to this, the longer glaciers have a visible tendency toward low length loss values (Category C: 21.5%; Category D: 15.8%).

6. SELECTED GLACIOLOGICAL RESEARCH PROJECT

This situation, which is easily comprehensible from a glaciological point of view, supports the assumption that the group of glaciers which are currently smaller and shorter in general will also react more quickly and sensitively to future retreat phases (key term: "greenhouse climate") than will the longer glaciers. The latter still have access to accumulation regions with a far more extensive "reserve capital" in frozen form. By contrast, in the future an accelerated glacier disintegration of the "schoolbook" glaciers, for example, the Rhône and the Morteratsch, which are all, without exception, part of the measurement network of the Glaciological Commission, will be much more visible and measurable as a distance change in the terminus position, and will lead to major changes in the overall landscape [Maisch et al., 1999b; SL, 1999]. Therefore, the larger (longer) glaciers having a preferential position in the measurement network (Categories B to D) prove themselves to be extremely well-suited indicators for the observation of long-term climate trends.

Pro-glacial Areas

The pro-glacial areas, which have successively become ice-free over the past 150 years, and are noticeably dynamic and unique in terms of natural geography, thus are becoming the principle glacio-morphological witnesses of the climatic change in high alpine regions. Sustained efforts to place these areas under official protection within the framework of a country-wide inventory of pro-glacial areas and alpine alluvial plains [BUWAL, 1999] should also be a central concern to all nature-loving mountaineers.



Photo 6.3:

The pro-glacial areas of the Geltengletscher allow us to speculate on which ice masses have melted in the 150 years since the "Little Ice Age". The corresponding moraine on the left side is clearly recognizable. The various sections are taken into consideration when the glacier is surveyed. Nevertheless, it is not unusual for termini with this shape to advance on one side and retreat on the other. (Photo A. Wipf)

THE SWISS GLACIERS 1997/98 AND 1998/99

Table 6.1: List of the measurement network glaciers (ranked acc. to the "2000" length values), incl. additional length and surface parameters. Source: CH-INVGLAZ glacier data base (1850 and 1973) and the annual reports of the Glaciological Commission (for the period 1973 to 1998).

Ran- king	Glacier name	No.	Length 1850 [km]	Length 1973 [km]	Length "2000" [km]	Area [km ²]
1.	Grosser Aletsch	5	26.5	23.9	23.3	96.1
2.	Fiescher	4	17.1	15.3	15.1	34.2
3.	Gorner	14	15.9	13.5	12.9	59.7
4.	Unteraar	51	14.5	12.9	12.4	29.5
5.	Corbassière	38	12.9	10.2	10.2	18.3
6.	Oberaletsch	6	10.4	9.1	8.9	22.8
7.	Unterer Grindelwald	58	9.9	8.3	8.3	20.8
8.	Mont Miné	26	10.2	8.3	8.2	11.0
9.	Otemma	34	10.6	8.7	8.0	17.5
10.	Rhone	1	9.2	8.0	7.9	17.6
11.	Findelen	16	10.4	7.8	7.7	17.4
12.	Zinal	22	9.2	7.5	7.1	15.4
13.	Hüfi	73	9.2	7.1	7.0	13.6
14.	Lang	18	8.6	6.9	6.7	10.1
15.	Alpetli (Kander)	109	9.2	6.8	6.7	13.9
16.	Morteratsch	94	8.9	7.0	6.7	16.4
17.	Ferpècle	25	9.3	6.6	6.6	9.8
18.	Oberer Grindelwald	57	7.5	6.7	6.5	9.5
19.	Zmutt	15	8.6	6.7	6.5	16.9
20.	Saleina	42	7.8	6.5	6.4	8.6
21.	Allalin	11	7.7	6.5	6.3	9.9
22.	Gauli	52	9.2	6.5	6.3	17.7
23.	Ried	17	7.5	6.3	5.9	8.2
24.	Mont Durand	35	7.2	5.9	5.8	7.6
25.	Trift	55	7.5	5.8	5.7	16.6
26.	Forno	102	7.8	6.2	5.7	8.7
27.	Breney	36	8.0	6.0	5.6	10.0
28.	Gries	3	7.6	5.7	5.4	6.2
29.	Turtmann	19	6.4	5.3	5.3	12.8
30.	Moiry	24	6.2	5.3	5.3	5.8
31.	Fee-Nord	13	5.9	5.0	5.2	7.5
32.	Rosenloui	56	5.9	5.2	5.1	6.1
33.	Mittelaletsch	106	6.7	5.4	5.1	8.3
34.	Brunegg (Turm.-E)	20	5.8	4.6	5.0	6.7
35.	Tsidjiore Nouve	28	5.3	4.8	5.0	3.2
36.	Rätzli	65	6.7	5.2	4.9	9.1
37.	Arolla (Mt. Collon)	27	7.0	4.8	4.8	13.2
38.	Oberaar	50	6.8	5.0	4.7	5.8

6. SELECTED GLACIOLOGICAL RESEARCH PROJECT

Ran-king	Glacier name	No.	Length 1850 [km]	Length 1973 [km]	Length "2000" [km]	Area [km ²]
39.	Trient	43	6.2	4.9	4.7	6.4
40.	Tschierva	93	5.8	4.8	4.7	6.2
41.	Giétro	37	4.8	4.5	4.5	5.9
42.	Biferten	77	5.6	4.4	4.4	2.8
43.	Roseg	92	6.8	4.9	4.3	8.5
44.	Stein	53	5.3	4.2	4.1	6.1
45.	Bis	107	4.3	4.0	4.0	4.7
46.	Rossboden	105	4.2	3.9	4.0	1.9
47.	Schwarzberg	10	6.0	3.8	3.8	6.1
48.	Palü	100	5.5	3.8	3.8	6.5
49.	Schwarz	62	4.6	4.0	3.8	1.6
50.	Tschingel	60	5.8	3.6	3.7	6.2
51.	Valsorey	39	5.1	3.8	3.6	2.4
52.	Albigna	116	5.0	3.7	3.6	3.5
53.	Tsanfleuron	33	5.4	3.7	3.5	3.8
54.	Cheillon	29	5.3	3.7	3.3	4.6
55.	Moming	23	4.5	3.6	3.3	6.4
56.	Silvretta	90	4.7	3.3	3.2	3.3
57.	Limmern	78	4.1	3.1	3.1	2.1
58.	Brunni	72	4.7	3.0	2.9	2.9
59.	Orny	108	3.3	2.9	2.9	1.6
60.	Tiefen	66	3.8	3.0	2.8	3.2
61.	Tseudet	40	4.2	3.0	2.8	1.7
62.	Gamchi	61	3.5	2.8	2.8	1.8
63.	Steinlimmi	54	4.2	2.8	2.7	2.3
64.	Boveyre	41	3.8	2.6	2.6	2.1
65.	Kehlen	68	4.3	2.6	2.6	3.2
66.	Blümlisalp	64	3.5	2.7	2.6	3.0
67.	Eiger	59	3.5	2.6	2.5	2.1
68.	Lämmern	63	4.5	2.6	2.5	4.8
69.	Damma	70	3.2	2.4	2.5	5.1
70.	Ammerten	111	2.8	2.5	2.4	1.2
71.	Glärnisch	80	3.5	2.5	2.4	1.7
72.	Paradies	86	5.1	3.6	2.3	4.0
73.	Lenta	84	3.9	2.6	2.3	1.4
74.	Rotfirn (Nord)	69	3.2	2.1	2.1	1.3
75.	Porchabella	88	3.4	2.4	2.1	2.6
76.	Verstankla	89	2.7	2.1	2.1	1.3
77.	Wallenbur	71	3.2	1.9	2.1	1.7
78.	Lötschberg	110	2.8	2.1	2.1	0.9
79.	Tiatscha	96	3.5	2.0	2.1	2.1
80.	En Darrey	30	3.1	2.1	2.0	1.9

THE SWISS GLACIERS 1997/98 AND 1998/99

Ran- king	Glacier name	No.	Length 1850 [km]	Length 1973 [km]	Length "2000" [km]	Area [km ²]
81.	Grand Désert	31	3.6	2.2	1.9	1.9
82.	Martinets	46	2.4	1.9	1.9	0.6
83.	Dungel	112	2.8	1.9	1.9	1.4
84.	Cavagnoli	119	2.8	2.0	1.9	1.4
85.	Cambrena	99	2.7	1.9	1.9	1.8
86.	Mont Fort (Tortin)	32	2.7	2.1	1.8	1.1
87.	Vorab	85	3.0	2.0	1.8	2.2
88.	Kaltwasser	7	2.6	1.6	1.6	1.9
89.	Calderas	95	2.7	1.8	1.6	1.2
90.	Suretta	87	2.5	1.6	1.5	1.1
91.	Lavaz	82	3.3	2.1	1.5	1.8
92.	Basòdino	104	2.8	1.5	1.5	2.3
93.	Griess	74	3.2	1.6	1.4	0.9
94.	Plattalva	114	2.1	1.4	1.3	2.1
95.	Scaletta	115	1.8	1.2	1.2	0.7
96.	Punteglias	83	2.2	1.4	1.2	1.0
97.	Griessen	76	2.1	1.2	1.2	1.3
98.	Mutt	2	1.8	1.0	1.1	0.6
99.	Sesvenna	97	1.7	1.2	1.1	0.8
100.	Paradisino (Campo)	101	1.6	1.1	1.1	0.5
101.	Bresciana	103	2.5	1.1	1.0	0.8
102.	Paneyrosse	44	1.8	0.9	0.9	0.5
103.	Firnalpeli	75	1.1	0.9	0.9	0.9
104.	Ofental	9	1.8	0.9	0.9	0.4
105.	Sex Rouge	47	1.4	0.9	0.9	0.7
106.	Valleggia	117	1.2	0.9	0.9	0.6
107.	Pierredar	49	1.3	0.8	0.9	0.5
108.	Lischana	98	1.3	0.9	0.9	0.2
109.	Croslina	121	1.3	0.8	0.8	0.3
110.	Kessjen	12	1.5	0.9	0.8	0.6
111.	Corno	120	1.8	0.7	0.8	0.3
112.	Prapio	48	1.0	0.8	0.8	0.3
113.	Sankt Anna	67	1.2	0.8	0.7	0.5
114.	Gelten	113	1.1	0.7	0.7	1.2
115.	Tälliboden	8	1.5	0.8	0.7	0.3
116.	Sardona	91	1.1	0.7	0.6	0.4
117.	Pizol	81	1.4	0.6	0.6	0.2
118.	Val Torta	118	0.9	0.6	0.5	0.2
119.	Bella Tola	21	1.1	0.6	0.5	0.3
120.	Sulz	79	1.1	0.4	0.4	0.2
121.	Grand Plan Névé	45	0.9	0.3	0.3	0.2

6.2 High-alpine Glaciers Testify to Air Pollution throughout History (prepared by M. Schwikowski and H.W. Gäggeler)

Introduction

Ice cores from the cold firn regions of the Arctic, Antarctic and the world's high-elevation alpine regions provide valuable information on past climate and atmospheric composition, complementing the long-term observations made of glacier changes. While the polar ice shields reflect the global climate changes of the last 200,000 to 400,000 years in particular, the ice cores extracted from the Alpine region, in their role as climate archives, seem to just barely cover the Holocene (the last 10,000 years). Nevertheless, they are located very close to the places in Central Europe which are influenced by human activity, which lends them particular importance. During the past few years ice cores were drilled and extensive glaciological and glacio-chemical investigations were conducted at the drilling sites [Oeschger et al., 1977, Haeberli et al., 1988, Wagenbach et al., 1988, Haeberli and Funk, 1991, Blunier et al., 1995, Döscher et al., 1995] by many research groups from every Alpine country as part of several interdisciplinary projects. Core investigations were carried out at four key sites: at Colle Gnifetti (4450 m a.s.l., Monte Rosa Massif), at Dôme du Gouter (4250 m a.s.l., Mont Blanc region), at Fiescherhorn Plateau (3850 m a.s.l., Bernese Alps) and at Lysjoch (4240 m a.s.l., Monte Rosa). The cores enable conclusions to be made concerning the atmospheric composition in the pre-industrial period and in the last 100 to 1000 years, a time strongly affected by human activity.



Photo 6.4:
Setting up the drilling camp at 4200 m elevation on the Grenzletscher, with Lyskamm and Matterhorn in the background. (Photo: A. Döscher)



Photo 6.5:
Ice drill in a drilling tent during a drill campaign on the Fiescherhorn Plateau (Photo: P. Gino)

Glaciers as Archives

Glaciers store information not only about snow, from which they are formed, but also about the chemical trace species contained in the snow. These trace species are absorbed by the snowflakes from the air on the way from the cloud to the glacier surface, thereby cleansing the atmosphere. These impurities now contained in the falling snow are then deposited on the glacier, one layer at a time, and can be used to

document the air pollution in past times. Depending on the thickness of the glacier and the rate of snow accumulation, the history of air pollution in the Alps can be documented over periods of up to several thousands of years. However, the only glaciers suitable for this type of investigation are the ones where precipitation falls in the form of snow throughout the year, as rain would destroy the chemical chronology. Such cold glaciers can be found in the Alps only at elevations above 4000 m a.s.l. [Funk, 1994]. For this reason, the paleo-atmospheric studies have been conducted until now on glaciers in the Monte Rosa region (Colle Gnifetti, Grenzgletscher, Lysjoch), in the Mont Blanc region (Col du Dôme) and in the Bernese Alps (Fiescherhorn Plateau).

Drilling Operations

As simple as the principle of frozen preservation of pollutants from the past may appear, the actual taking of samples and analysis of these prove to be challenging indeed. A lightweight ice-core drill especially designed by Felix Stampfli, FS Inventor AG Muri, for use in alpine regions has proven suitable for this task.

Photo 6.6:
The sawing up and packing of the ice cores on the Cerro Tapado in the Chilean Andes. (Photo: P. Gino)



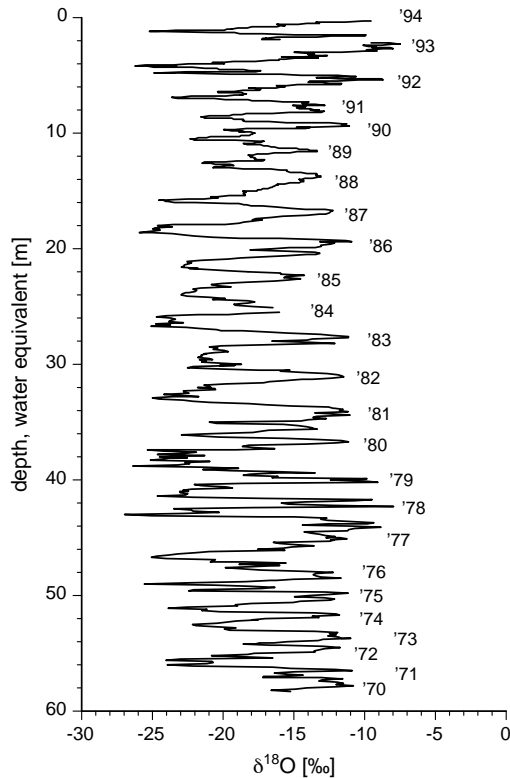


Figure 6.4:
Dating of the upper 60 m of the Grenz-
gletscher ice core by counting the annual
layers caused by the variation in the isotope
relationship $\delta^{18}\text{O}$, which has higher values in
summer than in winter.

The power for this electro-mechanical ice drill is supplied by flexible solar panels, or by a generator. The resulting ice cores have a diameter of approx. 8 cm and a maximum length of 90 cm per drilling interval. The total weight of the ice drill, including drill tent and power supply, is only 230 kg. Each individual part can be carried by a porter, which is essential for use in high alpine areas, like the Andes for example, where helicopters cannot be used for the transport of materials.

Chemical Analysis and Dating of Ice Cores

The ice cores are measured on the glacier, then sawed into short pieces, packed in plastic bags and transported to the laboratory while frozen. There, in the cold chamber at -20°C , further processing occurs, such as

measurement of density, removal of an outer layer possibly contaminated during transport, and cutting into small pieces. Once these partial samples have thawed, the various chemical trace elements are analyzed [Schwikowski, 1997].

Annual Rings in the Ice: The first task is to determine the age of the ice samples, which can be done using one of several methods. Counting the layers, year for year, similar to counting the rings of a tree to determine its age, provides the most accurate results, but can only be carried out for glaciers with high annual

Figure 6.5:
Depth-age relation for a 124 m long ice
core at Colle Gnifetti, drilled right down
to the bedrock, indicating the dating
methods used.

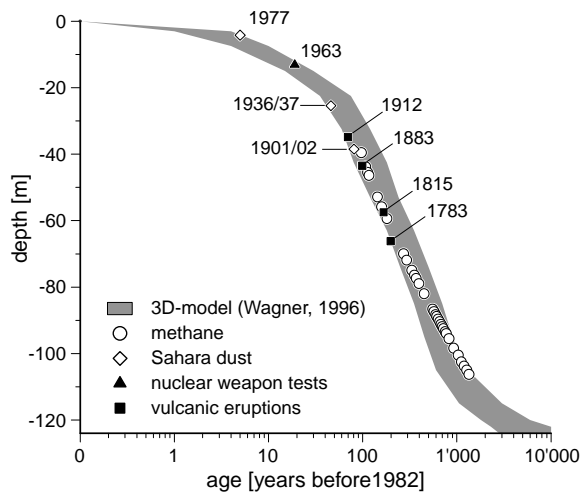


Figure 6.6:
Five-year mean values of the lead, soot, nitrate, ammonium, and sulphate concentrations (compiled using ice core data from Colle Gnifetti, Grenzgletscher and Fischerhorn).

precipitation amounts (rates of accumulation) (Figure 6.5) [Schwikowski et al., 1999a; Eichler et al., 2000]. In this method, use is made of the fact that the snow crystals from summer and winter precipitation events differ from one another slightly in their composition (differing $\delta^{18}\text{O}$ contents in the H_2O molecule). These differences can be analyzed using sensitive mass spectrometers.

Nuclear Dating: This technique can be used for glaciers with irregular deposition of precipitation, for example, on pass locations exposed to strong wind erosion. A radioactive form of lead naturally found in the atmosphere (Pb-210) is used, which reaches the glacier surface via precipitation. This method enables age to be determined over a span of approx. 100 years [Gäggeler et al., 1983; Eicheler et al., 2000].

Entrapments as a Dating Tool: Remnants of historical events or phenomena can also be used for dating purposes, for example, increased radioactivity in the atmosphere due to above-ground atom bomb testing by the Americans and the Russians in the Sixties, or the Chernobyl nuclear reactor accident in 1986. Other examples include the increased calcium amounts due to documented Sahara sandstorm events, and higher sulphate concentrations as a result of known volcano eruptions [Döscher et al., 1995 and 1996]. In addition, using measurement data from the Greenland ice, indirect dating can be carried out of the well-known temporal variations in the methane content in the atmosphere, this being a known greenhouse gas from biogenic emission sources. Aside from che-

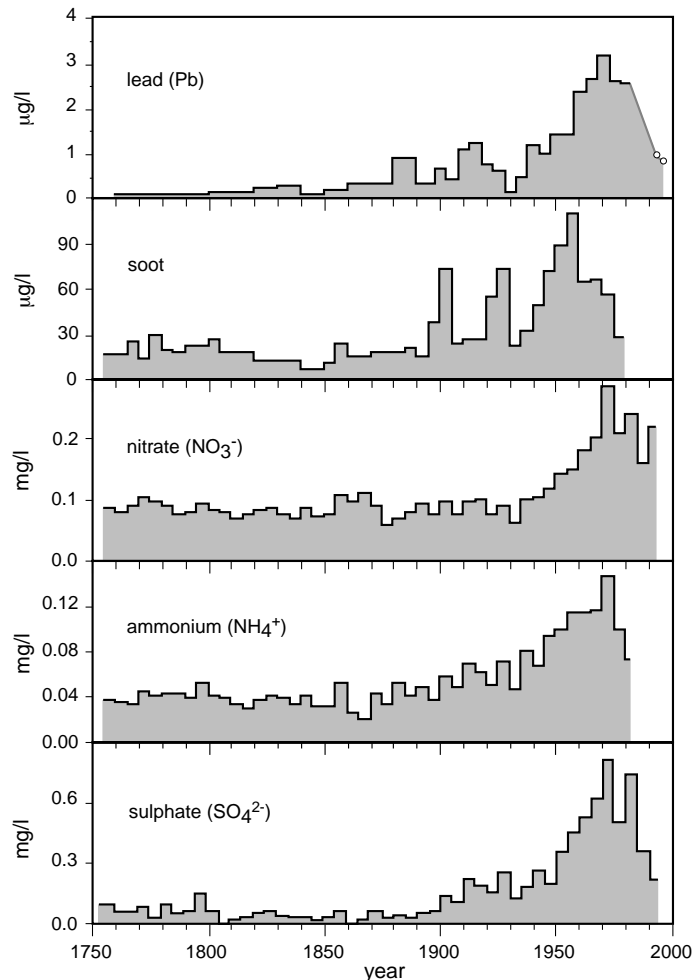


Figure 6.7:
Five-year mean values of chloride and fluoride concentrations – not due to sea salt – in the Grenzgletscher ice core, compared with the estimated emission values for hydrogen chloride and hydrogen fluoride in Switzerland [BUWAL, 1995].

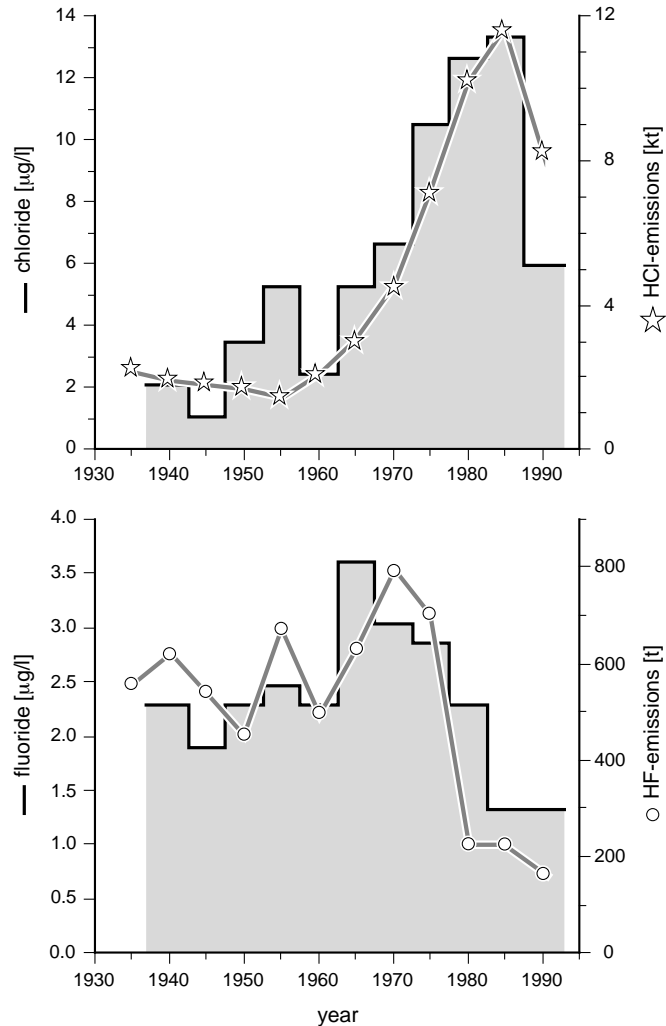
mical techniques, approximate dating can be done also using purely glaciological calculations of the depth-age relationship of a glacier [Wagner, 1996; Lüthi, 2000].

It was possible, for example, to establish a continuous chronology (Figure 6.5) for an ice core at Colle Gnifetti (4450 m a.s.l.) using a combination of all of these methods. Nevertheless, the uncertainty is great over the age of the deepest layer near bedrock, at a minimum value of 2,000 years and a maximum value of over 10,000 years. It can be said, though, that the oldest ice at Colle Gnifetti originates at least from Roman times, and perhaps as long ago as the last Ice Age.

Pollutants in the Alps

All of the glacier archives examined consistently showed a clear increase in the concentration of the most widely varying pollutants during the course of the 20th century (Figure 6.6).

Sulfate (SO_4^{2-}) is formed in the atmosphere from sulfur dioxide, which results from the burning of fossil fuels such as coal and oil. Its strong increase in concentration since the end of the 19th century can be traced to the rising consumption of these fuels as part of mass industrialization [Schwilkowski et al., 1999b]. This was combined with an intensification of agriculture and animal husbandry, the main emission source of ammonia (NH_3), stored in glaciers in the form of ammonium (NH_4^+) [Döscher et al., 1996].



Nitrate (NO_3^-) is formed in the atmosphere from nitrogen oxides, which are emitted mainly from automobiles. Nitrate concentration did not begin to increase rapidly until about 1940, which concurs with the well-documented rise in motorized traffic at this time.

Soot is released by the incomplete burning of coals, oil, diesel and gasoline (petrol) . For this reason, it shows a development of concentration similar to sulphate, with an increase that matches the consumption of this energy source [Lavanchy et al., 1999].

Lead, the heavy metal, enters the atmosphere via lead smelting, coal burning and the use of leaded gasoline in motor vehicles. There was a dramatic increase in lead in the air as early as the 19th century due to intensive mining activities. Lead concentrations up to the early 20th century reflected supplementary emissions from coal burning, but they decreased temporarily during the world economic crisis and the 2nd World War. The sharp increase in lead concentration between 1945 and 1970 can be traced to the increased use of leaded gasoline.

Two further pollutants - hydrogen fluoride and chloride - are present in the glacier ice. Hydrogen chloride originates mainly from incineration plants (PVC burning), whereas hydrogen fluoride is a by-product of the aluminium industry. The strong matching of the concentrations in the glacier ice with the emission estimates for Switzerland indicates that for these two pollutants, the sources must be sought in Switzerland (Figure 6.7).

On the positive side, Alpine glaciers are also a reliable indicator of the progress achieved in environmental protection. Since approximately 1970, all the pollutants mentioned here show a clear tendency to diminished concentrations, which is a direct result of various air quality measures such as the use of filtering units in power plants, in incineration plants and in the aluminium industry, the increased use of oils with low sulfur content, as well as the introduction of catalytic converters and lead-free gasoline. Concentration amounts of most pollutants have already been reduced to the level in 1940/50 thanks to these positive steps.

The methods developed for the reconstruction of the history of air pollution on Alpine glaciers are currently being applied also on other high mountain glaciers. Two glacier drillings were conducted in the Andes of South America, on the 5550 m Cerro Tapado in Chile, and on the Illimani in Bolivia, 6400 m a.s.l. The aim here is to investigate the concentration of pollutants at these locations and to study the intensity and frequency of the El Nino climatic phenomenon in past times. In addition to this, in the summer of 2000 the first round of exploratory drillings was carried out on the Belucha mountain, at 4500 m a.s.l. the highest peak in the Altai mountain range in Siberia. The historical development of the atmospheric components in this "backyard" of Europe is of particular interest, as it is at a rarely studied location on our earth.

References

- Aellen, M., Kappenberger, G. e Casartelli, G.** (1996). Il ghiacciaio del Basòdino (Alpi meridionali Svizzere). *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 18.
- Blunier, T., Chapellaz, J., Schwander, J., Stauffer, B. and Raynaud, D.** (1995). Variations in atmospheric methane concentration during Holocene epoch. *Nature*, 374, 46-49.
- BUWAL** (1995). Vom Menschen verursachte Luftschadstoff-Emissionen in der Schweiz von 1900-2010. *Schriftenreihe Umweltschutz, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern*, 256 S.
- BUWAL** (1999). Gletschervorfelder und alpine Schwemmebenen als Auengebiete. *Technischer Bericht. Schriftenreihe Umwelt, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, Natur und Landschaft*, 305 S.
- Döscher, A., Gäggeler, H.W., Schotterer, U. and Schwikowski, M.** (1995). A 130 years deposition record of sulphate, nitrate and chlorid from a high alpine glacier. *Water, Air and Soil Pollution*, 85, 603-609.
- Döscher, A., Gäggeler, H.W., Schotterer, U. and Schwikowski, M.** (1996). A historical record of ammonium concentrations from a glacier in the Alps. *Geophysical Research Letters*, 23, 2741-2744.
- Eicheler, A., Schwikowski, M., Gäggeler, H.W., Furrer, V., Synal, H.A., Beer, J., Saurer, M. and Funk, M.** (2000). Glaciochemical dating of an ice core from upper Grenzletscher (4200 m a.s.l.). *Journal of Glaciology*, 46 (154), 507-515.
- Flotron, AG** (1924 to 1998). Vermessung der Aaregletscher. *Bericht für die Kraftwerke Oberhasli AG*, unpublished.
- Funk, M.** (1994). Possible Alpine ice-core drilling sites, an overview. In: *Proceedings EPC workshop on Greenhouse Gases, Isotopes and Trace Elements in Glaciers as Climate Evidence for Holocene* edited by W. Haeberli and B. Stauffer, Zürich, 27. – 28. October 1992, 40-44.
- Gäggeler, H.W., von Gunten, H.R., Rössler, E., Oeschger, H. and Schotterer, U.** (1983). ²¹⁰Pb-Dating of cold alpine firn/ice cores from Colle Gnifetti, Switzerland. *Journal of Glaciology*, 29, 165-177.
- Haeberli, W., Schmid, W. and Wagenbach, D.** (1988). On the geometry, flow, and age of firn and ice at the Colle Gnifetti core drilling site (Monte Rosa, Swiss Alps). *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 24, 1-19.
- Haeberli W. and Funk M.** (1991). Borehole temperatures at the Colle Gnifetti core drilling site (Monte Rosa, Swiss Alps). *Journal of Glaciology*, 37 (125), 37-46.

- Hoelzle, M., Vonder Mühl, D. und Maisch, M.** (1999). Die Gletscher der Schweizer Alpen im Jahr 1997/98. Auszug aus dem 118. Bericht der GK/SANW. *Zeitschrift "Die Alpen"* 10/1999, 28-40.
- Hoelzle, M., Vonder Mühl, D., Schwikowski, M. und Gäggeler, H.W.** (2000). Die Gletscher der Schweizer Alpen im Jahr 1998/99. Auszug aus dem 119. Bericht der GK/SANW. *Zeitschrift "Die Alpen"* 10/2000, 22-33.
- IAHS(ICSU) - UNESCO - UNEP** (1991). Glacier mass balance bulletin no. 1 (1988-1989). *World Glacier Monitoring Service (Haerberli, W. and Herren, E. eds.), ETH Zurich, 1, 70 p.*
- IAHS(ICSU) - UNESCO - UNEP** (1993a). Fluctuations of Glaciers 1985-1990. *World Glacier Monitoring Service (Haerberli, W. and Hoelzle, M. eds.), ETH Zurich, 6, 322 p.*
- IAHS(ICSU) - UNESCO - UNEP** (1993b). Glacier mass balance bulletin no. 2 (1990-1991). *World Glacier Monitoring Service (Haerberli, W., Herren, E. and Hoelzle, M. eds.), ETH Zurich, 2, 74 p.*
- IAHS(ICSU) - UNESCO - UNEP** (1994). Glacier mass balance bulletin no. 3 (1992-1993). *World Glacier Monitoring Service (Haerberli, W., Hoelzle, M. and Bösch, H. eds.), ETH Zurich, 3, 80 p.*
- IAHS (ICSU) - UNEP - UNESCO** (1996). Glacier mass balance bulletin no. 4 (1994-1995). *World Glacier Monitoring Service (Haerberli, W., Hoelzle, M. and Suter, S. eds.), ETH Zurich, 4, 89 p.*
- IAHS(ICSU) - UNESCO - UNEP** (1998). Fluctuations of Glaciers 1990-1995. *World Glacier Monitoring Service (Haerberli, W., Hoelzle, M., Suter, S. and Frauenfelder, R. eds.), 7, 296 p.*
- IAHS (ICSU) - UNEP - UNESCO** (1999). Glacier mass balance bulletin no. 5 (1996-1997). *World Glacier Monitoring Service (Haerberli, W., Hoelzle, M. and Frauenfelder, R. eds.), ETH Zurich, 5, 89 p.*
- Kappenberger, G., Aellen, M. e Casartelli, G.** (1995). Il ghiacciaio del Basòdino. *Nimbus*, 8.
- Kappenberger, G. and Aellen, M.** (1998). The Basodino Glacier (Ticino, Switzerland) and its variations. *Convegno Internazionale di Meteorologia Alpina, (CIMA-ITAM), Torino, 9, 163-166.*
- Kasser, P., Aellen, M. und Siegenthaler, H.** (1986). Die Gletscher der Schweizer Alpen 1977/78 und 1978/79. 99. und 100. Bericht (Jahrbuch) der GK/SNG, 288 S.
- Lavanchy, V.M.H., Gäggeler, H.W., Schotterer, U., Schwikowski, M. and Baltensperger, U.** (1999). Historical record of carbonaceous particle concentrations from European high-alpine glacier (Colle Gnifetti, Switzerland). *Journal of Geophysical Research*, 104, 21227–21236.
- Lüthi, M. P.** (2000). Rheology of cold firn and dynamics of polythermal ice stream. Studies on Colle Gnifetti and Jakobshavns Isbrae. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich*, 165, 212 p.

- Maisch, M., Wipf, A., Denneler, B., Battaglia, J. und Benz, Ch.** (1999a). Die Gletscher der Schweizer Alpen - Gletscherhochstand 1850, Aktuelle Vergletscherung, Gletscherschwund-Szenarien. Schlussbericht NFP 31. *vdf Hochschulverlag AG, ETH Zürich*, 373 S.
- Maisch, M., Burga, C.A. und Fitze, P.** (1999b). 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*, 138 S.
- Müller, F., Cafilisch, T. und Müller, G.** (1976). Firn und Eis der Schweizer Alpen. *Gletscherinventar, ETH Zürich*.
- Müller, H. und Kappenberger, G.** (1991). Claridenfirn - Messungen 1914-1984. *Zürcher Geographische Schriften*, 40, 79 S.
- MS** (1997-99a). Monatlicher Witterungsbericht der MeteoSchweiz SMA, September 1997 - Oktober 1999.
- MS** (1997-99b). Täglicher Wetterbericht der MeteoSchweiz SMA, September 1997 - Oktober 1999.
- MS** (1997-99c). Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen auf den Meteorologischen und Regenmess-Stationen der Schweiz. *Quartalshäfte der MeteoSchweiz SMA*, 3/1997 - 4/1999.
- MS** (1997-99d). *Annalen der MeteoSchweiz SMA*, 132.- 134. Jg, 1997 - 1999.
- Oeschger, H., Schotterer, U., Stauffer, B., Haeberli, W. and Röthlisberger, H.** (1977). First results from alpine core drilling projects. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 13, 193–208.
- Schwikowski, M.** (1997). Analytical chemistry in high-alpine environmental research. *Chimia*, 51, 786–789.
- Schwikowski, M., Brüttsch, S., Gäggeler, H.W. and Schotterer, U.** (1999a). A high resolution air chemistry record from an Alpine ice core (Fiescherhorn glacier, Swiss Alps). *Journal of Geophysical Research*, 104, 13709–13720.
- Schwikowski, M., Döscher, A., Gäggeler, H.W. and Schotterer, U.** (1999b). Anthropogenic versus natural sources of atmospheric sulphate from an Alpine ice core, *Tellus B*, 51, 938–951.
- SL** (1999). Naturpfad Gletsch. In fünf Schritten durch das Gletschervorfeld des Rhonegletschers. *Stiftung Landschaftsschutz Schweiz, SL, Bern*.
- UNESCO** (1998). Into the second century of worldwide glacier monitoring: prospects and strategies. *Studies and reports in hydrology (Haeberli, W., Hoelzle, M. and Suter, S. eds.)*, 56, 227 p.
- VAW** (1997). Gletscherveränderungen im Val de Bagnes 1966-1996. *55.04.7903 Bericht für die "Force Motrice de Mauvoisin SA"*, unpublished.

THE SWISS GLACIERS 1997/98 AND 1998/99

- VAW** (1998). Mauvoisin – Giétrogletscher; Corbassièregletscher. 55.05.7903 Bericht für die "Force Motrice de Mauvoisin SA", unpublished.
- Vieli, A., Funk, M. und Blatter, H.** (1997). Griesgletscher. Berechnungen des Gletscherfliessens und Perspektiven für die Zukunft. *Wasser, Energie, Luft*, 89 (5/6), 107-114.
- Wagenbach, D., Münnich, K. O., Schotterer, U. and Schwikowski, M.** (1988). The anthropogenic impact on snow chemistry at Colle Gnifetti, Swiss Alps. *Annals of Glaciology*, 10, 183–187.
- Wagner, S.** (1996). Dreidimensionale Modellierung zweier Gletscher und Deformationsanalyse von eisreichem Permafrost. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich*, 146, 135 S.
- WMO** (1998). WMO statement on the status of the global climate in 1998. *World Meteorological Organization, WMO*, 896, 12 p.
- WMO** (1999). WMO statement on the status of the global climate in 1999. *World Meteorological Organization, WMO*, 913, 12 p.

Acknowledgement

The Glaciological Commission again received solid support in this 119/120th measuring period from its reliable team of observers. Sincere thanks for their cooperation are extended to: the forest workers from the cantons of Berne, Glarus, Grisons, Obwalden, St. Gallen, Uri, Tessin, Waadt and Wallis, the staff of the power stations Aegina, Mattmark, Mauvoisin and Oberhasli, all the individual helpers, the Geodesy Department of the Swiss Federal Office of Topography, the photogrammetrical firms Flotron AG (Meiringen) and Leupin AG (Gümligen). Climate, snow and discharge data were obtained by the Swiss Meteorological Institute, the Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research and the Federal Office for Hydrology and Geology. The Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW) at the Federal Institute of Technology (ETH), the Geographical Institut of the University of Zurich and many colleagues there provided valuable contributions to the publication of this glaciological report.

Many thanks to D. Vonder Mühl, M. Schwikowski and H.W. Gäggeler, who have contributed substantial parts of the 119/120th reports, to A. Bauder and H. Bösch who calculated the data for the Unteraargletscher for the year 1998/99; and to G. Kappenberger who collected and prepared the data for the Claridengletscher, as well as the data for the Ghiacciaio del Basòdino, jointly with M. Aellen. E. Kraetzer and B. Nedela prepared carefully the drawings and a special thank goes to Susan Braun-Clark for translating the report.

Appendix

I Remarks on individual glaciers (in German, French or Italian)

1 Rhone

1999: Vermessungsflug am 09.09.1999. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - M. Hoelzle).

3 Gries (Ägina)

1998: Vermessungsflug am 31.08.1998. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - M. Hoelzle).

1999: Vermessungsflug am 09.09.1999. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - M. Hoelzle).

4 Fiescher

1998: Das Gletschervorfeld ist gut begehbar. Ab nächstem Jahr wird die Messung vektoriiell erfolgen (VAW - D. Vonder Mühl).

5 Grosser Aletsch

1999: Vermessungsflug am 27.10.1999. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - M. Hoelzle).

6 Oberaletsch

1999: Das Gletschertor endet in einem kleinen Wasserbecken, aus welchem der Bach entfliesst (VAW - D. Vonder Mühl).

7 Kaltwasser

1998: Bei Punkt 1 ist die grosse Mulde wieder total eisfrei (M. Borter).

10 Schwarzberg

1999: Vermessungsflug am 02.09.1999. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - M. Hoelzle).

11 Allalin

1998: Vermessungsflug am 06.11.1998. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - H. Bösch).

1999: Vermessungsflug am 02.09.1999. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - H. Bösch).

12 Kessjen

1999: Vermessungsflug am 02.09.1999. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - H. Bösch).

16 Findelen

1999: Vermessungsflug am 02.09.1999. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - M. Hoelzle).

17 Ried

1999: Das Azimut der Messrichtung musste verändert werden (alt: 330, neu: 345) (VAW - D. Vonder Mühl).

18 Lang

1999: Ein grosser Felsen rechts vom Gletschertor kann nächstes Jahr als neuer Punkt verwendet werden (H. Henzen).

19 Turtmann

1998: Im vorderen Teil der Gletscherzunge ist ein Krater (Durchmesser 50 m) eingebrochen (P. Tscherrig).

29 Cheillon

1998: La mesure du point no. 2 a été faussée en 1997 à cause de la neige fraîchement tombée. C'est pourquoi je n'en tiens pas compte lors du calcul de la moyenne (St. Sepey).

31 Grand-Désert

1998: De part la grandeur du lac, les points 1-2-3 ont été estimés à partir des points A et B. Dans la partie ouest du glacier (fin de mesure B), le portail glaciaire a disparu. Dans la partie A on mesure encore une épaisseur de 1.5 m environ. Au centre on distingue une moraine (F. Vouillamoz).

1999: Comme d'habitude, en rapport avec le lac au centre des mesures, les points 1-2-3 ont été estimés a partir des points A et B. On constate cette année une diminution de l'épaisseur du portail glaciaire ainsi qu'un retrait conséquent sur la gauche du glacier (M. Bachmann).

32 Mont Fort (Tortin)

1999: Des éboulis recouvrent la partie gauche du glacier, d'ou une grande variation de mesure. Une petite crête surplombe les points 2 et 3, des névés subsistent devant celle-ci, les mesures ont été prises jusqu'au glacier, après la crête (M. Bachmann).

33 Tsanfleuron

1998: Le terrain s'est abaissé ca. 5 m sous le point 8 (J.-D. Brodard).

34 Otemma

1998: A côté du rive droite, la glace morte présente sous la moraine latérale a fondu et le matériel rocheux s'est effondré. La partie centrale en amont du pt 14/93 s'aplatit toujours plus, ainsi que les grands cônes de glace couverts de sable et de gravier. La rive gauche, malgré sa couverture rocheuse s'affaisse passablement et en amont de grosses crevasses et un creux marqué se forme (J.-J. Chabloz).

1999: Rive droite, pas de gros changement. Au centre du front, les gros cônes ont beaucoup diminués et derrière eux le front du glacier est toujours plus plat. Rive gauche, très forte ablation malgré la couverture rocheuse. Plus en amont, le front latéral se creuse toujours plus (J.-J. Chabloz).

35 Mont Durand

1998: Sous l'effet de la crue de la partie centrale et de la partie de gauche, le matériel rocheux a recouvert le pt 3/83. Le portail et le front gauche ont légèrement reculé. Du fait de l'avant terrain, il n'est malheureusement pas possible pour l'instant de déterminer un nouveau point de mesure de ce côté (J.-J. Chabloz).

1999: J'ai du créer un nouveau point 8/99 dans l'axe du point 4/85 car ce dernier, malgré un léger recul du front, est bientôt complètement recouvert de débris rocheux. Maintenant, la décrue est bien visible, très forte diminution de la masse. Je suis allé observer le plateau du glacier au-dessus du gros creux, l'ablation est aussi très fortement marquée (J.-J. Chabloz).

36 Breney

1998: Le rive droite toujours plus plate et comme prévu, la partie centrale s'est disloquée et les quelques blocs restants se sont séparés du front glaciaire. La glace est très difficile à voir sous les blocs de rochers de la rive gauche, seul l'instabilité des blocs signale la glace en mouvement (J.-J. Chabloz).

1999: Rive droite toujours moins épaisse, partie centrale effondrée en maints endroits. Le front rive gauche s'est par contre avancé, poussé me semble-t-il par la grosse masse de glace couverte de rochers, restant du front du Glacier des Portons. Cette avance fausse l'état réel du glacier en général (J.-J. Chabloz).

37 Giétro

1998: Vermessungsflug am 31.08.1998 im Auftrag der Kraftwerke Mauvoisin (FMM). Photogrammetrische Auswertung durch Firma Leupin AG, Gümligen (VAW - M. Hoelzle).

1999: Vermessungsflug am 02.09.1999 im Auftrag der Kraftwerke Mauvoisin (FMM). Photogrammetrische Auswertung durch Firma Leupin AG, Gümligen (VAW - M. Hoelzle).

38 Corbassière

1998: Vermessungsflug am 31.08.1998 im Auftrag der Kraftwerke Mauvoisin (FMM). Photogrammetrische Auswertung durch Firma AG, Gümligen (VAW - M. Hoelzle).

1999: Vermessungsflug am 02.09.1999 im Auftrag der Kraftwerke Mauvoisin (FMM). Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - M. Hoelzle).

40 Tseudet

1999: La mesure du Glacier de Tseudet pose régulièrement problème avec l'accumulation de moraines sur le front. Le mesure 1999 ne correspond pas à un avancement mais à la découverte d'une langue cachée précédemment (O. Guex).

43 Trient

1998: On a retrouvé le point C établi en 1967. Je le prend comme base de mes mesures, en établissant sur l'axe du profil un point voisin R. Je n'ai pas encore repéré le point A, qui, d'après mon plan, doit s'être dégagé (P. Mercier).

1999: Le front a retrouvé sa position de 1961 après des années de crue et 12 ans de decrue (P. Mercier).

44 Paneyrosse

1998: La langue glaciaire apparition entaillé créés par la fonte de l'été. Les mesures ont été difficile, parce qu'il y a de neige fraîche (J.-P. Marlétaz).

1999: Augmentation, grâce ont résides de neiges de l'hiver 1998/99 (J.-P. Marlétaz).

45 Grand Plan Névé

1998: Il y a de neige fraîche et les mesures était très difficiles (J.-P. Marlétaz).

1999: Points 5 et B120 sont stock de neige de l'hiver 1998/99 (J.-P. Marlétaz).

47 Sex Rouge

1999: Etablis une nouvelle ligne de mesures selon proposition de J.P. Bezençon (J. Binggeli).

48 Prapio

1999: La langue glaciaire était recouverte par un névé d'ou l'impossibilité de réaliser les mesures (J. Binggeli).

50 Oberaar

1998: Vermessungsflug am 9. September 1998. Photogrammetrische Auswertung durch Firma Flotron AG, Meiringen. Der Gletscher hat eine Eisfläche von 5'270 m² verloren, was einem mittleren Rückzug von 32.9 m im Berichtsjahr entspricht. Mit Ausnahme des Gebietes des rechten Zungenrandes ist der Rückgang riesig, zwischen 5 und 40 m. Dies entspricht etwa dem Betrag der letzten 4 Jahre zusammen. Der Seespiegel überschritt 1998 und 1999 mehrmals die Kote 2300.0 m ü.M. Der tiefste Punkt der Gletscherzunge betrug 2300 m ü.M. Demzufolge ist abzuschätzen, dass der See in den folgenden Tagen die Gletscherzunge erreichte (A. Flotron).

1999: Im Jahr 1999 wurden keine Luftbilder für den Oberaar geflogen. Deshalb konnten in diesem Jahr keine Profile und auch keine Längenänderung bestimmt werden (VAW - M. Hoelzle).

51 Unteraar

1998: Vermessungsflug am 9. September 1998. Photogrammetrische Auswertung durch Firma Flotron AG, Meiringen. Der mittlere Rückzug der Gletscherzunge beträgt 94.0 m. Die grösste Abschmelzung geschah wiederum, wie in den vergangenen Jahren, an der südexponierten Eisflanke links des Gletschertors. Der Rückgang ist jedoch markant grösser. Die Zunge, ca. 300 m nordöstlich des Hugiblockes, musste nun endgültig als geschmolzen betrachtet werden, was den Zungenrand in diesem Bereich um 150 m zurücksetzt. Der grosse Massenverlust zeigt sich auch beim Gletschertor, das über 200 m hinter der Vorjahresposition liegt und jetzt den Zungenbereich des Gletschers in zwei Teile spaltet.

Rechts des Gletschertors, bis zu der nordexponierten Flanke im Gebiet des geschiebefreien, steilen Eishanges, ist der Rückzug kleiner und ist mit den früheren Jahren vergleichbar. Der Fuss der steilen Eisflanke liegt 10 m hinter der Lage im Vorjahr. Der Plan mit den Flächen gleicher Höhenänderungen zeigt die grossen Höhenverluste, die durch das Abschmelzen der Zunge bis zu 20 m betragen. Entsprechend gross ist der Eismassenverlust von 2.1 Mio. m³ (A. Flotron).

1999: Vermessungsflug am 8. September 1999. Photogrammetrische Auswertung und Berechnungen durch H. Bösch und A. Bauder (VAW/ETHZ). Es wurden 13 Profile auf dem Unteraar nach den Vorgaben des Vermessungsbüros Flotron AG ausgewertet. Auf jedem Profil werden zwischen 14 und 28 Punkte gemessen. Die mittlere Höhe wird jeweils bestimmt, indem der erste und letzte Punkt des Profiles mit 0.5 gewichtet wird und dann durch die gesamte Anzahl der Profilpunkte minus 1 dividiert wird (VAW - M. Hoelzle).

52 Gaudi

1998: Die Höhenkote des Gletschertores entspricht der Höhenkote des Gletschersees (2130 m ü.M.) (O. Elsener).

53 Stein

1998: Die Gletscherzunge ist viel flacher geworden und auch weiter oben hat der Gletscher stark an Mächtigkeit verloren. Von einem Fixpunkt aus, wo letztes Jahr der Gletscherrücken noch zu sehen war, ist nun kein Eis mehr sichtbar. Die Gletscheroberfläche ist nach der Erosion des Ausflusses infolge von Unwetter fast 1m tiefer. Der Gletscher endet nicht mehr im See und hat wieder ein breites Vorland mit kleinen Moränenwällen (R. Straub).

55 Trift (Gadmen)

1998: In den letzten Jahren wurde der Triftgletscher nicht mehr vermessen. Jetzt ist jedoch eine interessante Phase eingetreten, indem er sich nun rasant in das obere Gletscherbecken zurückgezogen hat und sich deutlich von den Felsen der Windegg und dem Drosi absetzt. Nun ist es wieder möglich geworden, die Längenänderung zu vermessen. Gemäss der Landeskarte lag die erste Trifthütte unmittelbar am Gletscher. Heute ist das Eis weit entfernt und gegenüber kommen überall Felsen zum Vorschein. Auch der recht grosse Gletschersee unmittelbar rechts über dem Abbruch ist ausgelaufen. Zudem ist der Zugang zur Trifthütte durch das Absinken des Gletschers viel unangenehmer und auch gefährlicher geworden. Es wird auch immer schwieriger, den Weg auf dem Gletscher einigermassen zu markieren, denn alles ist in unglaublich schneller Veränderung (O. Lüthi).

1999: Der Gletscher hat sich nun aus der Schlucht zurückgezogen und dieses Jahr kann seit längerer Zeit wieder einmal eine Längenänderungsschätzung gemacht werden. Das Gletschervorfeld ist aber noch mit Seen, Bächen, Sandbänken und Alteis überzogen. Eine Begehung war zu gefährlich und ein guter Fixpunkt war noch nicht zu finden. Die Längenänderung bezieht sich also auf eine Schätzung bezogen auf den Felsen beim Schluchteingang auf der rechten Seite. Ein richtiges Ende des Gletschers existiert gar nicht, da nur noch drei dünne Lappen vorhanden sind. Enorm ist die Abnahme der Eismächtigkeit. Diese dürfte seit 1993 um ca. 120 m zurückgegangen sein. Auf der linken Seite hat sich ein grosser Trichter mit See gebildet. Am Rand auf der rechten Seite sind lange Randseen entstanden und der Gletscher ist gegen die Mitte hin stark eingesunken. Es besteht eine allfällige Ausbruchsfahr. Der Abbruch ist viel schmaler geworden und es haben sich auf der rechten Seite grosse Wasserfälle gebildet (ca. 30 m breit und 60 m hoch). Auf beiden Seiten tritt bis hoch hinauf nun Alteis zu Tage und überall rutschen die Moränen nach. Aus diesem Grund mussten wir die Leitern bei der Windegg um ca. 200 m nach Westen versetzen, eine neue Route über den Gletscher markieren und den Abgang vom Gletscher im Geröll verlegen. Effektive Vermessungen werden erst möglich sein, wenn fixe Standorte zum Vorschein kommen (O. Lüthi).

57 Oberer Grindelwald

1998: Der Gletscher hat weiter stark an Masse verloren und die Zunge hat sich weiter in die Schlucht zurückgezogen (H. Boss).

1999: Weiterer Rückgang der Gletscherzunge. Die Distanz ist sehr schwer abzuschätzen. Zudem ist ein weiterer starker Massenverlust zu beobachten. Der Gletscherstand entspricht ca. demjenigen von 1959/60 (H. Boss).

58 Unterer Grindelwald

1999: Dank den Vergleichsansichten von H. Boss (Bilder vom 24.10.98 und 17.10.99) konnte die Längenänderung qualitativ abgeschätzt werden. Der Gletscher hat sich auch dieses Jahr leicht zurückgezogen (VAW - M. Hoelzle).

59 Eiger

1998: Der Gletscher ist sehr flach und unterhöhlt. Der erneute Rückgang veranlasste die Neuanlage von Punkt B''. Bei der Messung von Punkt F stiessen wir auf Punkt A in Messrichtung (R. Zumstein).

1999: Eine massive Ablagerung von Lawinenschnee auf der rechten Seite führte a) zu einer geringeren Abschmelzung und b) zu einer grossen Unsicherheit bei der Bestimmung der Eisgrenze (trotz Sondierung). Das Gletschereis ist zum Teil bis zu 10 m unterhöhlt (R. Zumstein).

60 Tschingel

1998: Nach den heftigen Niederschlägen vom 23./24. August 1998 hat sich ein neues (zusätzliches) Gletschertor auf der rechten Seite gebildet. Der Punkt H ist verloren gegangen (weggespült). Es sind deshalb die neuen Punkte G und I angelegt und die übrigen Messstellen um 28 bis 45 m nach oben verlegt worden (R. Zumstein).

1999: Das Resultat der Messungen zeigte ein uneinheitliches Bild: Vorstoss an 3 Punkten und Rückzug an 4 Punkten. Weitere Erosion beim rechten Gletschertor mit einer Grabenbildung von ca. 10 m. Der Punkt A wurde durch den Schneedruck verschoben, das heisst die Messung erfolgte ab dem Versicherungspunkt. Der Gletscher erscheint mächtiger, sodass im Jahr 2000 mit einem Vorstoss gerechnet werden kann (vor allem im mittleren Bereich) (R. Zumstein).

62 Schwarz

1998: Der Punkt g ist wegen Überschüttung nicht messbar (kein sichtbares oder sondierbares Eis vorhanden). Auf der Gletscherzunge haben sich durch das Abschmelzen Krater gebildet (U. Vogt).

1999: Ausser Punkt d waren alle übrigen Punkte nicht messbar wegen starker Schuttüberlagerung. Das Gletschereis ist nicht mehr zu eruieren. Die Messungen sollten deshalb aufgegeben werden (U. Vogt).

63 Lämmern

1998: Der Punkt c' wurde neu fixiert und mit c'+194 angeschrieben (Vorverlegung um 100 m). Der Gletscherrand zerfällt in Blöcke wegen des steil ansteigenden Untergrundes (U. Vogt).

1999: Der Rand des Gletschers ist stark abgeflacht (U. Vogt).

64 Blümlisalp

1998: Im Bereich B und C ist eine grosse Absackung vor allem dort, wo der Gletscher keinen Schutt aufweist. Grössere Hohlräume können unter der Zunge festgestellt werden und bei D ist ein kleiner unveränderter See (U. Fuhrer).

1999: Dem Punkt D ist fester Firn vorgelagert. Auf allen Messlinien wurden Zwischenpunkte eingerichtet, versichert und neu markiert (U. Fuhrer).

66 Tiefen

1999: Der Rückgang erfolgte bei allen Messpunkten. Um die Distanz bei Punkt 89 zu reduzieren wurde neu ein Punkt 99 eingerichtet. Die Punkte 95, 97, 99 wurden bezogen auf den Punkt GL79, untereinander eingemessen. Dabei wurde festgestellt, dass der Punkt 97 vor zwei Jahren falsch eingemessen wurde. Der Fehler betrifft nur die Lage des Punktes und den Verlauf des Eisrandes. Die Distanz von Punkt 97 zum Gletscher bleibt gleich. Am rechten Gletscherrand hat sich ein neues Gletschertor gebildet. Der Hauptabfluss erfolgt neuerdings südlich von GL79. Der 250 m westlich von Punkt 2594 m ü.M. liegende Abfluss ist nicht aktiv. Der Gletscher hat hier derart an Mächtigkeit verloren, dass das Wasser den Übergang westlich des Punktes 2594 m ü.M. nicht mehr erreicht (J. Marx).

67 Sankt Anna

1999: Der Rückzug ist insbesondere bei den Punkten 93 und 95 markant. Vor Punkt 95 hat sich ein kleiner See gebildet. Trotz grosser Schneemengen im vergangenen Winter ist der östliche Zungenbereich, wo sich die Skipiste befindet, total ausgeapert. Die Messpunkte 76 und 86 zielen seitlich am Gletscher vorbei. Als Folge einer markanten Abnahme der Mächtigkeit wird die Rückzugstendenz weiter anhalten (J. Marx).

68 Kehlen

1998: Der Gletscher hat sich bei allen Messpunkten zurückgezogen. Bei Punkt 1996A kommt ein Messingbolzen zum Vorschein, welcher während der Vorstossperiode von 1968 bis 1988 überfahren wurde. Es handelt sich dabei um den Punkt GL72. 1998 ist nun auch der zweite Messingbolzen mit der Inschrift GL73 ausgeapert. Damit befindet sich das Gletscherende im Bereich, wo er sich ca. 1974 befand. Der Tiefststand von 1967 ist noch nicht erreicht. Die Messpunkte sind unter sich eingemessen worden (J. Marx, M. Planzer).

1999: Die Punkte GL72 (1996A) und 1997A lagen zum Messzeitpunkt unter 1 bis 2 m Lawinenschnee. Entsprechend konnte die Messung nur an den relativ nahe beieinander liegenden

Punkten 1997 und GL73 erfolgen. Südwestlich von GL73 wurde ein Punkt 1999 auf einer Felsstufe neu eingerichtet. Alle verwendeten Punkte wurden unter sich neu eingemessen (J. Marx, M. Planzer).

69 Rotfirn Nord

1998: Der Gletscher hat sich beim südlichen Messpunkt (1982) zurückgezogen. Beim nördlichen Punkt ist er praktisch stationär. Die Messpunkte GL70 und GL71 sollten beide ausgeapert sein, sie konnten jedoch bis heute nicht gefunden werden, da der Gletscher in seinem Vorfeld viel Schutt zurückgelassen hat. Der derzeitige Stand entspricht etwa demjenigen zu Beginn der 70er Jahre (J. Marx, M. Planzer).

1999: Der Rückzug erfolgte beim Punkt 1980 im Bereich des Gletschertors beim den Gletscher unterquerenden Bach. Über dem Bachlauf bricht die Eismasse zunehmend ein, sodass das Eis links das Chelenbaches in absehbarer Zeit vom Gletscher getrennt werden könnte. Die Punkte wurden unter sich neu eingemessen (J. Marx, M. Planzer).

70 Damma

1998: Der Rückzug setzt sich bei allen Messpunkten fort. Die Messingbolzen GL74 und GL75 liegen im Bereich des Zungenendes, konnten aber bis heute nicht gefunden werden. Der Tiefstand von Mitte der 70er Jahre ist bei weitem noch nicht erreicht (J. Marx, M. Planzer).

1999: Der Rückzug erfolgte auf allen Messpunkten. Der Messpunkt GL74 sollte durch die Rückzüge der vergangenen Jahre wieder eisfrei sein, konnte jedoch unter den vom Gletscher liegengelassenen Schuttmassen nicht gefunden werden. Die heute verwendeten Messpunkte wurden unter sich neu eingemessen (J. Marx, M. Planzer).

71 Wallenbur

1999: Im Messbereich liegender Lawinenschnee lässt keine eindeutige Messung zu. Der Rückzug ergibt sich zum Teil aus der vermuteten Lage der Gletscherzunge (P. Kläger, J. Marx).

73 Hüfi

1998: Der Gletscher zieht sich im Randbereich stark zurück. Da sich die Eismasse im Bereich des zerklüfteten Absturzes stark abbaut, verliert der Zungenbereich markant an Mächtigkeit (J. Marx).

1999: Im Bereich der Messpunkte B' und C' liegt Lawinenschnee. Beim Messpunkt D' ergibt sich zum Vorjahr keine Längenänderung. Eine genaue Messung ist nur im Punkt 1997 möglich. Da die Messlinie in diesem Bereich am südlichen Seitenrand der Gletscherzunge auftritt, dürfte das diesjährige Resultat die tatsächlichen Verhältnisse überschätzen (J. Marx).

74 Griess (Unterschächen)

1998: Der Rückgang liegt bei beiden Messpunkten in der gleichen Grössenordnung (B. Annen, J. Marx).

1999: Vorstoss und Rückzug der zwei gemessenen Punkte halten sich die Waage. Die Höhenkote des tiefsten Punktes wurde mit 2223 m ü.M. neu bestimmt. Es herrschte dichter Nebel bei der Messung (J. Marx, B. Annen).

75 Firnalpeli (Ost)

1999: Zur Zeit der Messung lag viel Firnschnee im untersten Bereich der Zunge, sodass das Gletscherende nur vermutet werden konnte. Der Massenverlust dürfte beträchtlich sein, da von Westen her eine Felsrippe je länger je mehr zum Vorschein kommt. Der westlichste Punkt (Nr. 1) kann deshalb zur Bestimmung der Längenveränderung nicht mehr benutzt werden (R. Imfeld).

77 Biferten

1998: Bereits beim Aufstieg zum Gletscher traten Bedenken auf, ob wir von den bestehenden Fixpunkten aus noch den Gletscher erfassen können. Die Vermutung wurde bestätigt, so dass kurzerhand auf einen temporären Punkt ausgewichen werden musste, da am Standort des neuen Punktes zuviel Geröll liegt, um einen neuen Festpunkt zu bestimmen. Die Nr. 100 auf dem 1:1000 Plan zeigt den momentanen Ort. Der Punkt 101 wiederum ist ein Festpunkt, welcher bereits durch Herrn Walter Wild benützt wurde (ev. A oder B), da die Unterlagen aber nur bis zum Jahr 1957 vorliegen, konnten die Koordinaten nicht gefunden werden, somit wurden die Koordinaten und die Höhe durch Rückwärts-Schnitt bestimmt. Der Punkt 100 wurde durch eine Vektor-Messung ab dem Punkt 2036 festgelegt. Der Abstand zur Wasserfassung 2 der KLL beträgt nun bereits 53 m. Er ist somit um 5m grösser als im Jahr 1997. Beim tiefsten Punkt (1924.9 m ü.M) befindet sich nach wie vor das Gletschertor, aus dem auch am Messtag noch riesige Mengen von Gletscherwasser zu Tal floss. Auch am Gletscherrand hat es oft mehr Wasser als Eis. Die Eishöhle, welche letztes Jahr noch beobachtet werden konnte, ist in der Zwischenzeit fast nicht mehr zu sehen. Die Messung auf der bekannten Visurlinie Fridolinshütten-Ecke bis zur alten Fridolinshütte zeigt sich allmählich als unmöglich, da der Gletscher nur noch schlecht eingesehen werden kann, und so unzuverlässige Höhenwerte entstehen. Somit entfällt also die diesjährige Höhenangabe. Die Station 2, die in den Vorjahren jeweils benützt wurde, wurde ebenfalls weggelassen, da sich der Gletscher momentan bereits recht weit entfernt hat und die Aufnahmen von Punkt 101 besser auszuführen sind. Dies hat aber auf die Messungen keinen Einfluss, da die Längenänderung immer über die ganze Gletscherbreite und seine Flächen berechnet wird (H.P. Klauser).

1999: Die Messanordnung war gleich wie im Vorjahr 1998. Da von den Punkten nahe der Fassung der KLL kein Einblick zum Gletscher möglich ist, musste wiederum mit einem temporären Fixpunkt ab dem Punkt 2036 (mittels Vektormessung) die nötige Sicht verschafft werden. Der Punkt 101 konnte ebenfalls wieder benützt werden. Ein Gletschertor ist nicht mehr eindeutig

zu erkennen. Am Zungenende brechen zur Zeit mehrere grössere Einzelteile ab. Der Gletscherbach fliesst einfach beim tiefsten Punkt aus dem Gletscher. Die dortige Höhe hat sich gegenüber dem Jahr 1998 um weitere 8.3 m auf die Höhe von neu 1933.2 m ü.M. zurückgezogen. Der Abstand zur KLL Fassung 2 beträgt mittlerweile 61.8 m und hat sich im letzten Jahr um 8.8 m verlängert. Die bekannte Visurlinie über die Fridolinshütte als Höhenvergleich musste bereits letztes Jahr weggelassen werden. Dieses Jahr wurde ungefähr auf der alten Visurlinie im Bruch des unteren Gletscherfeldes zum Gletscherrand eine Höhe erfasst, die auch in den nächsten Jahren etwas den Massenschwund oder -gewinn aufzeigen soll. Die Höhe beträgt dort 2034.4 m ü.M. (H.P. Klauser).

79 Sulz

1998: Der Gletscher ist weit offen. Seitlich zeigen sich neue Anbrüche, die wahrscheinlich demnächst einstürzen werden. Früher war der Sulzgletscher viel stärker mit Schutt bedeckt (Th. Rageth).

1999: Das Gletschertor ist geschlossener als 1998. Eine markante Abschmelzung auf der rechten Seite hat sich verlangsamt, ging aber weiter (Th. Rageth).

80 Glärnisch

1998: Die letztjährigen Fixpunkte konnten auch dieses Jahr wiederum in der gleichen Reihenfolge benützt werden (11000003, 11000011). Sollte sich jedoch der Gletscher weiterhin so stark zurückziehen, wird man wohl neue Fixpunkte bestimmen müssen. Vor allem die Region des tiefsten Punktes kann von der Station 11000003 bald nicht mehr eingesehen werden. Beim tiefsten Punkt, der sich von 2291.7 m ü.M. (im Jahr 1997) auf 2298.1 m ü.M. zurückgezogen hat, bildet sich langsam wieder ein Gletschertor. Der Schmelzabfluss über den ganzen Gletscher war am Messtag wiederum beträchtlich, und dies trotz des späten Datums. Auch die Beobachtung des näheren Geländes deutet auf den erneuten Rückzug. Das vordere sowie auch das hintere Bächistockcouloir sind streifenweise ausgeapert, was noch selten so beobachtet werden konnte (H.P. Klauser).

1999: Die Messpunkte konnten trotz Schneebedeckung schnell aufgefunden werden. Die Resultate der Messung müssen vorsichtig interpretiert werden, da die Schneedecke (ca. 10 bis 20 cm) nur unscharfe Konturen der Gletscherzunge zuließ. Der tiefste Punkt liegt 2.5 m tiefer als letztes Jahr, bei 2295.5 m ü.M. Ein Gletschertor konnte nicht direkt erkannt werden, jedoch lässt ein grosses Loch am Zungenende auf ein eventuelles Gletschertor schliessen. Trotz unsicherer Auswertung hinterliess der intensive Winter 1998/99 auch beim Glärnischgletscher seine Spuren. Nach Aussagen des Hüttenwarts war der Gletscher fast ausnahmslos mit Schnee bedeckt (H.P. Klauser).

81 Pizol

1998: Die Messungen erfolgten ab der C-Linie, in den Messpunkten 1 bis 6. Der Gletscher war überall schneefrei. Der Wasserabfluss war überall noch stark. Auf der Ostseite des Gletschers

waren die Spalten sehr deutlich erkennbar. Bei den Messpunkten C1, C5, und C6 war der Eisrand unter dem reichlich vorhandenen Schutt nicht sauber zu erkennen. Er musste in diesen Punkten mehr vermutet als direkt festgestellt werden. Unterhalb des Messpunktes C2, wo im Vorjahr noch ein abgelöstes Eisfeld festgestellt worden ist, war dieses jetzt vollständig verschwunden. Die im Vorjahr mit Acrylfarbe neu markierten Messpunkte der Linie C waren sehr gut auffindbar. Aufgefallen ist dieses Jahr besonders die starke Vereisung des Gletschers (A. Hartmann).

1999: Die Messungen erfolgten in den Messpunkten 1, 3, 4 und 5 wieder ab der C-Linie, in den Messpunkten 2 und 6 jedoch ab der B-Linie. Der Gletscher war schneebedeckt. Wegen der Niederschläge der Vortage war der Wasserabfluss überall noch stark. Die Messpunkte C2 und C6 waren von Firn und Schnee vollständig überdeckt, sodass sie nicht auffindbar waren. Wir mussten die Messung in diesen Punkten deshalb ab den Punkten B2 und B6 vornehmen. Die mittlere Veränderung des Gletschers wurde deshalb nur als Durchschnitt der Punkte C1, C3, C4 und C5 ermittelt (A. Hartmann).

82 Lavaz

1999: Im Jahr 2000 muss eine neue Basislinie erstellt werden. Der Rückgang seit 1995 beträgt 215 m (A. Sialm).

83 Punteglias

1999: Die äusseren Bedingungen am Messtag waren 1/8 Bewölkung, 10-12°C und im Messgebiet teils noch recht viel Altschnee (bis über 1 m). Es waren nicht alle Basispunkte sichtbar. Zur Messung betreffend des Basispunktes 9115 gilt es darauf hinzuweisen, dass wegen einer möglichen Gefährdung des Messgehilfen am Fuss des "grossen Muschelbruches" der Verlauf des Gletscherrandes nicht ganz genau festgelegt werden konnte. Beim angegebenen Mass von 96 m an diesem Punkt für den Rückgang 1998/99 handelt es sich aber auf jeden Fall um einen Mindestwert. Zum Längenrückgang kommt auch ein zwar nicht gemessener aber deutlicher Schwund der Mächtigkeit. Das ziemlich aufgelöste Gletscherende ist wegen der starken Schuttüberdeckung als solches kaum mehr zu erkennen. Zur Zeit fliesst nur ein Teil des Hauptabflusses über schwach geneigtes Vorgelände in den See, sodass die Auffüllung mit Sediment verhältnismässig langsam vor sich geht. Eine Wasserausbruchsgefahr mit entsprechender Gefährdung der Unterlieger (Kraftwerke Ferrera und Dorf Trun) ist auszuschliessen. Die ausge dehnte Eismasse am Osthang oberhalb des Sees scheint kurz vor der Abtrennung vom Gletscher zu stehen (A. Klöti).

84 Lenta

1998: Der Rückzug des Gletschers erfolgt weniger am Zungenende als vielmehr von der östlichen Seite her (B. Parolini).

85 Vorab

1998: Es herrschen gute Messbedingungen. Der Gletscher ist mit leichtem Neuschnee bedeckt (R. Hefti).

1999: Der Gletscher ist zum Teil bis 50 m über die Kante der letztjährigen Messgrenze mit Firn bedeckt. Das Eis konnte nicht eruiert werden. Alle Mess- und Versicherungspunkte wurden neu markiert (R. Hefti).

86 Paradies

1998: Die Mächtigkeit des Gletschers hat erneut abgenommen. Es wäre erwünscht, die Punkte GL152, GL 180 und GL 181 in die neue Landeskarte aufzunehmen, da deren Koordinaten nicht gesichert sind (O. Hugentobler).

1999: Das Zungenende hat sich stark abgeflacht. Die Neufestlegung eines Hilfspunktes (HP2) war erforderlich. Das Zungenende kann nur unter sehr schwierigen Verhältnissen erreicht werden. Der geringe Rückzug täuscht über das tatsächliche Ausmass des Massenschwundes hinweg (O. Hugentobler).

87 Suretta

1998: Der Gletscher ist nicht vorgestossen, obwohl dies aufgrund der Skizze und der Messungen vermutet werden könnte. Die Eismasse ist im oberen Gletscherteil eindeutig zurückgegangen. Es muss angenommen werden, dass das Gletscherende sich unverändert unter dem Lawinenschnee befindet (O. Hugentobler).

1999: Die Gletschermasse hat sich eindeutig zurückgebildet. Dies zeigt auch ein Vergleich der Photos aus den Vorjahren. Der Anteil der ausgeaperten Felsköpfe im oberen Gletscherteil hat sich vergrössert. Das Zungenende war von Lawinenschnee überdeckt, welcher zum Zeitpunkt der Messung noch nicht abgeschmolzen war (O. Hugentobler).

88 Porchabella

1998: Die Messungen wurden durch den Herbstschnee unwesentlich beeinflusst. Die durchschnittliche Längenabnahme 1997/98 von 16.4 m (6.0 bis 25.5 m) ist somit aussagekräftig. Von den 1997 erstmals gemessenen Felsköpfen bei Punkt 2861 m ü.M. konnte aus Sicherheitsgründen, schneebedecktes Spaltenfeld, nur der grosse Kopf vermessen werden. Dieser ragt neu zwischen 5.2 und 36.3 m aus dem Gletscher, das heisst, die Massenabnahme 1997/98 beträgt zwischen 1.0 - 1.4 m (Chr. Barandun).

1999: Die Messungen konnten bei einwandfreien Bedingungen durchgeführt werden. Die durchschnittliche Längenabnahme von 6.5 m ist somit aussagekräftig. Nach 1997 konnten wieder beide Felsköpfe bei Punkt 2661 m ü.M. eingemessen werden. Beim kleinen Kopf ergab sich eine Massenabnahme von 1997 bis 1999 von -2.7 m und beim grossen Kopf eine solche von -6.8 m (Chr. Barandun).

89 Verstankla

1998: Nach einem wie in den letzten Jahren üblichen milden Winter mit eher wenig Schneefällen war das Frühjahr regenreich. Im Mai und in der ersten Hälfte August war es überdurchschnittlich warm. In der zweiten Augushälfte kühlte es empfindlich ab und anlässlich der Messung war der Gletscher grösstenteils mit einer leichten Schneeschicht bedeckt. Deshalb war es kaum möglich, den Ausaperungsstand zuverlässig festzustellen. Am Messtag wehte ein eher kühler Nordwestwind, Wolkenfelder bedeckten den Gletscher. An diesem Tag lag die Nullgradgrenze bei 3300 m ü.M. Alle vier Messpunkte liessen sich mühelos auffinden. Ebenso konnten deren Abstände zur Gletscherzunge eingemessen werden, auch wenn das reichliche Moränenmaterial dies zum Teil erschwerte. Das neue Gletschertor liegt nun ca. 40 m oberhalb der nördlichen Felsnase. 3/4 des Schmelzwassers kommt dort zum Vorschein, während ca. 1/4 unter dem südlich abgelagerten Moränenmaterial her kommt (J. Stahel).

1999: Nach einem extrem schneereichen Winter mit zahlreichen Februarlawinen und einem nachfolgenden nassen Frühling mit Rüfenniedergängen war der Sommer nicht besonders sonnig, jedoch recht warm. Diese Wärme hielt noch über das Messdatum an. Als wir die Gletscherzunge eingemessen haben, war es vorwiegend sonnig, ziemlich windstill und die Nullgradgrenze lag auf 3700 m ü.M. Wir schätzten, dass etwa ein Viertel des Gletschers ausgeapert war. Alle vier Messpunkte liessen sich mühelos auffinden. Ebenso konnten deren Abstände zur Gletscherzunge eingemessen werden, auch wenn das reichliche Moränenmaterial dies zum Teil erschwerte. Der Gletscher hat sich bei allen Messpunkten zurückgezogen, besonders stark jedoch beim Punkt Pn mit 29 m. Ein eigentliches Gletschertor ist nur beschränkt erkennbar, das Wasser quillt zwischen Gletscherende und Moränenmaterial hervor (J. Stahel).

90 Silvretta

1998: Vermessungsflug am 31.08.1998. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - M. Hoelzle).

1999: Vermessungsflug am 01.11.1999. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - M. Hoelzle).

91 Sardona

1998: Der Gletscher wies kaum mehr eine Schneedecke auf, und der Eisrand lag überall frei, abgesehen von den Geschiebeüberlagerungen. Die Messungen erfolgten ab den Messpunkten 1 bis 6. Die Messpunktmarkierungen wurden mit rotem Farbspray erneuert. Der Gletscherrand war ausser bei den Punkten 2 und 4 als Eisrand gut erkennbar. Bei Punkt 2 war der Eisrand, wie im Vorjahr festgestellt, der Azimutlinie entlang sehr stark mit Geschiebe überführt. Im Bereich des Messpunktes 4 (interne Bezeichnung: Marantastein) fiel dieses Jahr auch die sehr starke Geschiebeüberführung des Gletschers auf. Die grossen Gesteinsbrocken bildeten entlang der Messlinie geradezu einen Wall. Bei den Punkten 5 und 6 war dieses Jahr kein Firn mehr festzustellen, und der flache Eisrand trat sauber zutage. Auf der Azimutlinie des Messpunktes 6 hat sich die dünne Eiszunge soweit zurückgezogen (schätzungsweise 250 m vom Messpunkt ent-

fernt), dass eine Einmessung nicht mehr sinnvoll erscheint. Statt dessen wurde ab diesem Messpunkt mit einem abweichenden Azimut die vorhandene Zungenecke eingemessen. Grosse Eisschollenablösungen waren wiederum nicht festzustellen. Die immer wieder erwähnte Einsackung des Gletschers im Bereich zwischen den Messpunkten 2 und 3 ist dieses Jahr eindrucksmässig wieder deutlicher geworden. Der Gletscherrand und die vermuteten Toteispartien sind wegen der Schuttüberdeckung in diesem Bereich nicht feststellbar. Die Spalten im Bereich oberhalb der Punkte 1 bis 4 sind im Vorjahr weniger aufgefallen. Stark verschmutztes Schmelzwasser trat überall aus (A. Hartmann).

1999: Der Gletscher wies eine Schneebedeckung von 10 bis 20 cm auf, da es kurz vor der Begehung schneite. Dank deutlicher Markierung der Messpunkte waren diese aber gut aufzufinden. Die Messungen erfolgten ab den Messpunkten 1 bis 6. Alle Messungen wurden wieder mit Azimut 295 vorgenommen. Der Gletscherrand war nur bei den Punkten 1 und 3 als Eisrand gut erkennbar. Bei allen übrigen Punkten war der Eisrand von Firnschnee zugedeckt, bzw. vorgelagert. In diesen Punkten konnten deshalb die Verschiebungen des Eisrandes nicht bestimmt werden. Wegen der Schneeüberlagerung konnten auch keine Veränderungen der Geschiebesituation und der Spaltenbildung festgestellt werden. Bei Punkt 6 wurde wieder auf der alten Azimutlinie gemessen. Wegen des wieder entstandenen grossen, aber wenig mächtigen Firnfeldes in diesem Bereich (ca. 80 cm dick), ergab sich in diesem Messpunkt ein (theoretischer) Vorstoss gegenüber 1998 von 76.8 m. Der durchschnittliche Vorstoss des Gletschers in allen Messpunkten beträgt 16.3 m, und der Vorstoss der (aussagekräftigen) Messpunkte 1 bis 5 beträgt 4.2 m. Aufgefallen sind uns bei den diesjährigen Messungen, dass an verschiedenen Stellen unterhalb des Gletschers neue Firnfelder entstanden sind (A. Hartmann).

92 Roseg

1998: Es hat kein Toteis mehr am linken Seeufer. Es treiben Eisschollen auf dem vorgelagerten Gletschersee (G. Bott).

1999: Es treiben Eisschollen auf dem vorgelagerten Gletschersee. Es herrschten gute Messbedingungen. Die Zunge nimmt an Mächtigkeit ab (G. Bott).

93 Tschierva

1998: Es wurde wieder sehr viel Holz gefunden. Der rechte Zungenrand ist stark abgeschmolzen und es wurde eine Felsplatte freigegeben (G. Bott).

1999: Es wurde viel Holz gefunden. Ein neuer Bach hat sich rechts von der Gletscherzunge gebildet. Zudem kommt eine grosse Felsplatte rechts der Zunge zum Vorschein (G. Bott).

94 Morteratsch

1998: Die Trennung zwischen Gletscher und Toteis am rechten Zungenrand wird immer deutlicher. Zudem wird der Gletscher immer dünner (G. Bott).

1999: Das Gletschertor hat sich verschoben. Der Gletscher nimmt an Mächtigkeit ab. Die Gletscherzunge ist rechtsseitig abgesackt (G. Bott).

95 Calderas

1998: Es hat 65 cm Neuschnee und die Sichtbedingungen sind sehr schlecht (G. Bott).

1999: Es ist ein grosser Eisschwund auf beiden Seiten der Gletscherzunge festzustellen. Zudem sind zahlreiche oberflächliche Wasserrinnen, sowie Felspartien im oberen Gletscherabschnitt sichtbar (G. Bott).

96 Tiatscha

1998: Auf Grund der Schneelage am Gletscher konnten die Punkte A und B nicht und die übrigen weniger genau eingemessen werden (Genauigkeit ca. 1 m) (M. Stadler).

1999: Der Gletscher hat unterhalb des Felsbandes nur noch eine geringe Mächtigkeit. Der rechte Teil (ab Basispunkt B) hat keine Verbindung mehr zum eigentlichen Gletscher oberhalb des Felsbandes. Der rechte Teil erhält eigentlich nur noch Zuwachs bzw. Eisnachschub durch relativ häufige Eisabbrüche von oberhalb des Felsbandes. Der am weitesten rechts liegende Basispunkt A wurde deshalb für die Messung nicht mehr berücksichtigt. Im Bereich des Gletschertores (Basispunkt C) ist die Gletscherzunge sehr stark zurückgegangen. Dies dürfte in erster Linie mit der sehr geringen Mächtigkeit von 1-2 m in diesem Bereich zusammenhängen. Zwischen dem alten Gletschertor und dem jetzigen sind zwar noch einige Gletscherreste vorhanden, die aber untereinander keinen Zusammenhang mehr haben (M. Stadler).

97 Sesvenna

1998: Im Gegensatz zu den Vorjahren stellten wir im Bereich der Messlinie Nr. 6 eine geringe Längenveränderung fest. Wegen der geringen Eismächtigkeit dieses Abschnittes, muss in den nächsten Jahren mit einer bedeutenden Veränderung dieser Gletscherzone gerechnet werden. Auf der Messlinie Nr. 1 hat sich wiederum ein kleines Gletschertor gebildet (L. Rauch).

1999: Wiederum war der Rückzug des Gletscherfusses im Bereich der Messlinien Nr. 5 und 6 am grössten. Hier weist der Gletscher nur noch eine geringe Mächtigkeit auf. Im nächsten Jahr muss eine neue Basislinie abgesteckt werden (L. Rauch).

98 Lischana

1998: Wegen früher Einwinterung war die Vermessung des Gletschers nicht möglich. (L. Rauch).

1999: Wegen der geringen Mächtigkeit des Gletscherrandes stellen wir seit Jahren grosse Schwankungen der durchschnittlichen Ergebnisse fest. Im Bereich der Messlinie Nr. 1 ist der Gletscher verschwunden. Innerhalb weniger Jahre wird er nun entscheidend an Breite verlieren. Auch stellen wir einen markanten Rückzug des oberen Gletscherrandes fest, derart, dass die oberen Gletscherzonen innerhalb der nächsten Jahre verschwinden werden (L. Rauch).

99 Cambrena

1998: Der Gletscher hat sich links (Felswand) stark zurückgezogen. Der Gletscherabbruch ist verschwunden. Die Oberfläche ist stark abgeschmolzen (A. Godenzi).

1999: Es wurde eine grosse Endmoräne aufgeworfen. Der Gletscherbach fliesst nun durch das linke Tälchen. Der Gletscherabbruch existiert nicht mehr. Es kann eine neue Messbasis auf einem grossen Felsrücken erstellt werden (A. Godenzi).

100 Palü

1998: La lingua terminale diminuisce fortemente sulla parte sinistra (N), mentre sulla parte destra (S) è stabile, dato che è coperta di detriti. La lingua si è ultenormente separata dalla parte superiore (G. Berchier).

1999: La lingua terminale sparisce sulla parte sinistra. La lingua terminale è totalmente separata dalla parte superiore del ghiacciaio (G. Berchier).

101 Paradisino ("Vedreit da Camp")

1998: Der Gletscher war bereits eingeschneit. Die Schuttmasse wird immer grösser und dadurch die Messung immer schwieriger (A. Godenzi).

102 Forno

1998: Auffallender Dickenschwund auf der Westseite im Meter Bereich (C. Mengelt).

1999: Es gab kaum Veränderungen an der Ostseite, dafür kam es an der Westflanke der Gletscherzunge zu einem Einbruch des Gletschertores. Der Hauptbach wurde freigelegt und fliesst jetzt offen entlang der Gletscherflanke. Grosse Wassermengen auf dieser Seite erschweren die Messungen erheblich (C. Mengelt).

103 Bresciana

1998: Anche quest'anno abbiamo misurato tutto il suo fronte, la lingua si è appiattita notevolmente e sulle fasce laterali la regressione è anche di oltre 50 m rispetto alle misure del 1997 (C. Valeggia).

1999: Si nota un regressione notevole dovuto allo strato di ghiaccio non consistente che si è sciolto ai lati dove ci sono delle sporgenze di roccia, la lingua si è appiattita notevolmente e la regressione è anche di oltre 80 m (C. Valeggia).

104 Basòdino

1998: Il fronte ghiacciaio si è notevolmente appiattito. Abbiamo ritrovato alcuni punti di misurazioni vecchi (anno 1964 - 1967) su roccia che finora si trovavano sotto la coltre di ghiaccio (C. Valeggia).

1999: Il fronte del ghiacciaio si è di nuovo notevolmente appiattito rispetto alle misurazioni dell'anno 1998 (C. Vallenggia).

105 Rossboden

1998: Es wurden zusätzlich zwei neue Fixpunkte gesetzt mit den Nummern 6 und 7 (F. Pfammatter).

109 Alpetli

1998: Beispielhaft schöne, saubere und tatzenförmig am Boden auslaufende Gletscherzunge. Weitere deutliche Abnahme der Gletscherhöhe (U. Fuhrer).

1999: Bei Punkt C ein starker seitlicher Schwund, infolge Abwärme der seitlichen Felspartien (links) festzustellen. Die Gletscherzunge ist flacher als im Vorjahr (U. Fuhrer).

111 Ammertan

1998: Die extreme Hitzeperiode dieses Sommers haben dem Gletscher sehr zugesetzt. Der stärkere Rückzug bei P1 ist z.T. bedingt durch die steile Eisstirn, während die anderen Messpunkte durch die dicke Schuttschicht vollständig überdeckt und somit mehr geschützt sind (E. Hodel).

1999: Es herrschten sehr gute Messverhältnisse. Trotz des schneereichen Winters hat der Gletscher vermutlich nicht stark an Masse zugenommen. Im Nährbecken ist die Gleichgewichtslinie tiefer als das vorhergehende Jahr. Die Ausaperung auf eisfreiem Gelände entspricht ungefähr den letzten Jahren (E. Hodel).

112 Dungal

1999: Der Gletscher konnte nicht eingemessen werden, da die Zunge schneebedeckt war (A. Wipf).

113 Gelten

1999: Die Gletscherzunge ist noch mit Altschnee bedeckt. Es konnte auch noch keine Basislinie erstellt werden (A. Wipf).

115 Scaletta

1998: Der Gletscher ist bereits eingeschneit und das Zungenende konnte auf ± 1 m bestimmt werden. Die provisorische Fixpunkteinrichtung soll nächstes Jahr noch verbessert werden. Die Fixpunktplatten von anfangs der 1970er Jahre konnten nicht mehr gefunden werden. Grössenordnungsmässig ging der Scalettagletscher aber seit 1970 ca. 400 m zurück (M. Latenser).

1999: Die Gletschermessung konnte bei idealen Verhältnissen durchgeführt werden. Die provisorische Fixpunkteinrichtung vom Vorjahr wurde problemlos wieder gefunden und konnte

noch etwas verbessert werden. Auch eine der beiden Fixpunktplatten von anfangs der 70er Jahre konnte auf einem grossen Felsblock gefunden werden. Sie liegt auf der linken Seitenmoräne ca. 150 m unterhalb des heutigen Gletscherendes. Von der zweiten alten Fixpunktplatte auf der rechten Gletscherseite fehlt jede Spur. Gegenüber dem Vorjahr ist der Gletscher um ca. -3 m zurückgegangen (M. Laternser).

117 Valleggia

1998: Le condizioni del tempo avverse (neve) durante il periodo di settembre e ottobre non ci ha permesso di effettuare le misure del ghiacciaio (C. Valeggia).

1999: La lingua del ghiacciaio termina nella vallata tra la morena di roccia e la montagna. Il suo fronte è ripido con una coltre di ghiaccio assai consistente nella parte centrale della lingua del ghiacciaio. Anche qui le fotografie mostrano molto bene la sporgenza di roccia nel centro della lingua del ghiacciaio, anche quest'anno il suo spessore è sensibilmente diminuito (C. Valeggia).

118 Val Torta

1998: Il ghiacciaio si è appiattito notevolmente senza avere una coltre di ghiaccio molto consistente ed è in gran parte ricoperto da detriti di roccia. Le fotografie annesse mostrano molto bene questa situazione, inoltre si nota alcune sporgenze di roccia sia nel ghiacciaio, come pure a valle del fronte. Il nevaio che si trova nella conca tra le due morene davanti al ghiacciaio è praticamente ridotto sia in superficie come pur in volumetria (C. Valeggia).

1999: Il ghiacciaio si è appiattito notevolmente senza avere una coltre di ghiaccio molto consistente ed è in gran parte ricoperto da detriti di roccia. Il nevaio che si trova nella conca tra le due morene davanti al ghiacciaio si è praticamente ridotto sia in superficie come pure in volumetria (C. Valeggia).

119 Cavagnoli

1998: Sulla sua sinistra il ghiacciaio termina su una morena di roccia con il pendio verso il fronte del ghiacciaio, il suo spessore non è più consistente, si ritiene di rilevare questa parte nei prossimi anni. Il fronte del ghiacciaio che si misura termina in una zona pianeggiante formando davanti alla lingua un laghetto (C. Valeggia).

1999: Sulla sua sinistra il ghiacciaio termina su una morena di roccia con il pendio verso il fronte del ghiacciaio, il suo spessore non è più consistente, si ritiene di rilevare questa parte nei prossimi anni. Il fronte del ghiacciaio che si misura termina in una zona pianeggiante formando davanti alla lingua un laghetto. La lingua del ghiacciaio si è appiattita notevolmente (C. Valeggia).

120 Corno

1998: Trovandosi questo ghiacciaio su un pendio ripido si nota come la lingua di ghiaccio spinge verso valle, la sua lingua si sta appiattendosi. Avanti ad esso c'è uno strato di ghiaccio ricoperto da detriti e la sua forma corrisponde ai rilievi precedenti (C. Valeggia).

1999: Trovandosi questo ghiacciaio su un pendio ripido si nota come la lingua di ghiaccio spinge verso valle, la sua lingua si sta appiattendosi. Avanti ad esso c'è uno strato di ghiaccio ricoperto da detriti e la sua forma corrisponde ai rilievi precedenti. Quest'anno abbiamo misurato tutto il fronte del ghiacciaio, sicuramente in un prossimo futuro le misurazioni saranno tra le due sporgenze di roccia, come risulta dalle fotografie annesse rilevate dalla stazione HP2 (C. Valeggia).

121 Croslina (Campo Tencia)

1998: La lingua di ghiaccio è tra le rocce e termina con un nevaio ghiacciaio ricoperto da detriti. Il nevaio nella parte pianeggiante si è sciolto formando di nuovo un laghetto come mostrano le fotografie. La lingua del ghiacciaio si trova su roccia sia lateralmente come pure davanti al fronte e al di sopra del nevaio. La sporgenza di roccia che si trova sotto la lingua del ghiacciaio rendono difficili le misurazioni del fronte (C. Valeggia).

1999: La lingua del ghiacciaio si trova su roccia sia lateralmente come pure davanti al fronte e al di sopra del nevaio. Il nevaio nella parte pianeggiante si è sciolto formando di nuovo un laghetto come mostrano le fotografie. La lingua di ghiaccio termina su una sporgenza di roccia molto ripida e rendono le misurazioni molto difficili (C. Valeggia).

II Investigators of the individual glaciers (2000)

Glacier	No.	Investigator	Glacier	No.	Investigator
Albigna	116	currently not observed	Grosser Aletsch	5	ETH, Hermann Bösch
Allalin	11	ETH, Hermann Bösch	Hüfi	73	Jann Marx
Alpetli	109	Ueli Fuhrer	Kaltwasser	7	Martin Schmidhalter
Ammerten	111	Erwin Hodel	Kehlen	68	Martin Planzer
Arolla	27	Frédéric Pralong	Kessjen	12	ETH, Hermann Bösch
Basòdino	104	Claudio Valeggia	Lammern	63	Ulrich Vogt
Bella Tola	21	Peter Tscherrig	Lang	18	Hans Henzen
Biferten	77	Hanspeter Klauser	Lavaz	82	A. Sialm
Bis	107	currently not observed	Lenta	84	Bruno Parolini
Blümlisalp	64	Ueli Fuhrer	Limmern	78	Urs Steinegger
Boveyre	41	Olivier Guex	Lischana	98	Lügga Rauch
Breney	36	Jean-Jacques Chabloz	Lötschberg	110	currently not observed
Bresciana	103	Claudio Valeggia	Martinets	46	currently not observed
Brunegg	20	Peter Tscherrig	Mittelaletsch	106	ETH, Daniel Vonder Mühl
Brunni	72	Jann Marx	Moiry	24	Marcel Barmaz
Calderas	95	Giachem Bott	Moming	23	Marcel Barmaz
Cambrena	99	Aldo Godenzi	Mont Durand	35	Jean-Jacques Chabloz
Cavagnoli	119	Claudio Valeggia	Mont Fort	32	Francois Vouillamoz
Cheillon	29	Stéphane Seppey	Mont Miné	26	Frédéric Pralong
Corbassière	38	ETH, Hermann Bösch	Morteratsch	94	Giachem Bott
Corno	120	Claudio Valeggia	Mutt	2	Ueli Wittdorf
Croslina	121	Claudio Valeggia	Ob. Grindelwald	57	Hans Boss
Damma	70	Martin Planzer	Oberaar	50	Flotron AG
Dungel	112	Andreas Wipf	Oberaletsch	6	ETH, Daniel Vonder Mühl
Eiger	59	Rudolf Zumstein	Ofental	9	ETH, Hermann Bösch
En Darrey	30	Stéphane Seppey	Orny	108	currently not observed
Fee	13	Toni Burgener	Otemma	34	Jean-Jacques Chabloz
Ferpècle	25	Frédéric Pralong	Palü	100	Gilbert Berchier
Fiescher	4	ETH, Daniel Vonder Mühl	Paneyrosse	44	J.Ph. Marlétaz
Findelen	16	ETH, Hermann Bösch	Paradies	86	Oskar Hugentobler
Firnalpe	75	René Imfeld	Paradisino	101	Aldo Godenzi
Forno	102	Curdin Mengelt	Pierredar	49	currently not observed
Gamchi	61	Roland Descloux	Pizol	81	Arnold Hartmann
Gauli	52	Otmar Elsener	Plattalva	114	Urs Steinegger
Gelten	113	Andreas Wipf	Porchabella	88	Christian Barandun
Giétro	37	ETH, Andreas Bauder	Prapio	48	Jacques Binggeli
Glärnisch	80	Hanspeter Klauser	Punteglias	83	Hermann Klöti
Gorner	14	Stefan Walther	Rätzli	65	Christian von Grünigen
Grand Désert	31	Francois Vouillamoz	Rhone	1	ETH, Hermann Bösch
Grand Plan Nivé	45	J.Ph. Marlétaz	Ried	17	ETH, Daniel Vonder Mühl
Gries	3	ETH, Hermann Bösch	Roseg	92	Giachem Bott
Griess	74	Beat Annen	Rosenloui	56	currently not observed
Griessen	76	René Imfeld	Rosboden	105	Ferdinand Pfammatter

THE SWISS GLACIERS 1997/98 AND 1998/99

Glacier	No.	Investigator
Rotfirm	69	Martin Planzer
Saleina	42	Olivier Guex
Sankt Anna	67	Jann Marx
Sardona	91	Arnold Hartmann
Scaletta	115	Martin Laternser
Schwarz	62	Ulrich Vogt
Schwarzberg	10	ETH, Hermann Bösch
Sesvenna	97	Luca Rauch
Sex Rouge	47	Jacques Binggeli
Silvretta	90	ETH, Hermann Bösch
Stein	53	Rudolf Straub
Steinlimmi	54	Rudolf Straub
Sulz	79	Thomas Rageth
Suretta	87	Oskar Hugentobler
Tälliboden	8	ETH, Hermann Bösch
Tiatscha	96	Markus Stadler
Tiefen	66	Jann Marx
Trient	43	Pierre Mercier
Trift	55	Otto Lüthi
Tsanfleuron	33	Jean-Daniel Brodard
Tschierva	93	Giachem Bott
Tschingel	60	Rudolf Zumstein
Tseudet	40	Olivier Guex
Tsidjiore Nouve	28	Frédéric Pralong
Turtmann	19	Peter Tscherrig
Unt. Grindelwald	58	Hans Boss
Unteraar	51	Flotron AG
Val Torta	118	Claudio Valeggia
Valleggia	117	Claudio Valeggia
Valsorey	39	Olivier Guex
Verstankla	89	Jürg Stahel
Vorab	85	Reto Hefti
Wallenbur	71	P. Kläger
Zinal	22	Marcel Barmaz
Zmutt	15	ETH, Daniel Vonder Mühl