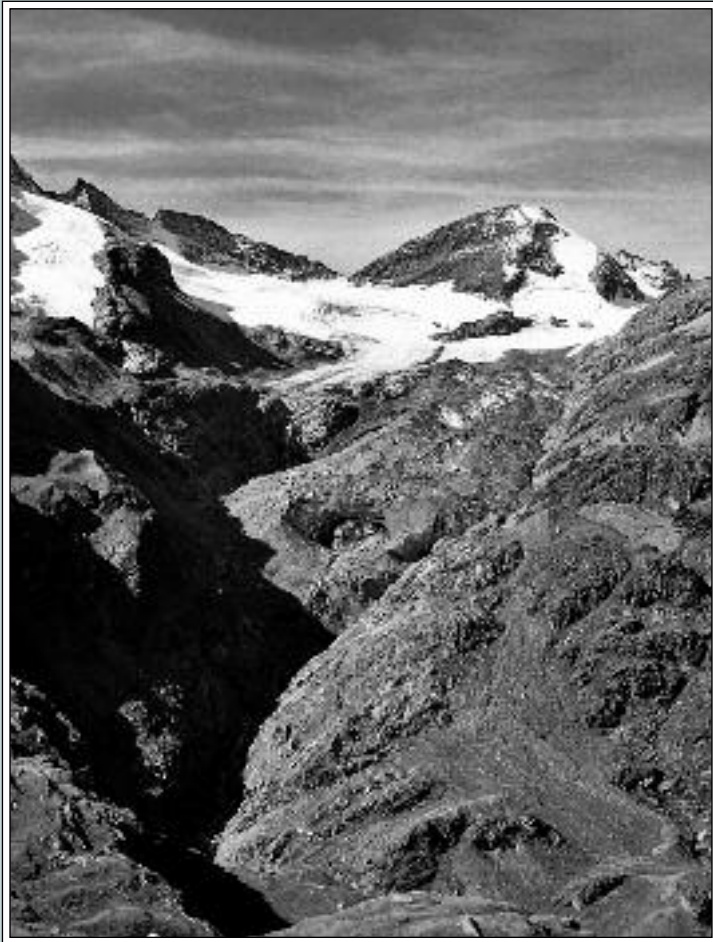


The Swiss Glaciers

2001/02 and 2002/03

Glaciological Report No. 123/124



2008

The Swiss Glaciers

2001/02 and 2002/03

Glaciological Report No. 123/124

Cryospheric Commission (EKK) of the Swiss Academy of Science (SCNAT) and Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW) at the Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH Zurich)

Edited by

Evelyne Ruth Herren¹ and Andreas Bauder²

With contributions from

Heinz Blatter³, Christoph Frei⁴, Wilfried Haeberli⁵, Martin Hoelzle⁵,
Andreas Kääh⁵, Giovanni Kappenberger⁴, Horst Machguth⁵, Max Maisch⁵,
Frank Paul⁵, Christoph Schär³

1 Bremgarten (AG)

2 Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW), ETH Zurich

3 Institute for Atmospheric and Climate Science (IACETH), ETH Zurich

4 MeteoSwiss

5 Department of Geography, University of Zurich

2008

Publication of the Cryospheric Commission (EKK) of the Swiss Academy of Sciences (SCNAT)

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

Gloriastrasse 37/39, CH-8092 Zurich, Switzerland

<http://glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers/>

© Cryospheric Commission 2008

ISSN 1424-2222

Printed by

Ebnoether Joos AG
print & publishing
Sihltalstrasse 82
Postfach 134
CH-8135 Langnau am Albis
Switzerland

*Cover Page: Glacier du Mont Durand 2003: Drastic retreat of the tongue occurred in 2002/03. The rock outcrop in the centre of the photo is once again visible.
(Photo: Archives VAW / J.J. Chabloy)*

Preface

This report is the new volume no 123/124 in the series “The Swiss Glaciers” and presents the results from the two observational periods: 2001/02 and 2002/03. It carries on the longstanding tradition of yearbooks documenting monitored fluctuations of Swiss glaciers since 1880 (see next page).

Annual observations and data on glacier length variation, glacier mass balance and ice flow velocity are systematically collected and coordinated by the Swiss Academy of Sciences (SCNAT). This report contains acquired basic data, additional original information and preliminary interpretations. It is addressed to the international scientific community and for this reason appears in English. The results contribute to the international efforts to document glacier fluctuations as part of environmental monitoring initiatives (Global Climate Observing System GCOS, Global Terrestrial Observing System GTOS) and are reported to the World Glacier Monitoring Service (WGMS). Data and digital versions of the present and earlier volumes can be found at <http://glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers>. The continued existence of the long time-series of data related to glacier changes is thanks in no small part to the enduring efforts of many individuals, as well as public and private organizations in Switzerland.

The present report is based on a short overview of general outcomes published in German and French in the magazine “Die Alpen - Les Alpes” of the Swiss Alpine Club [Bauder et al. 2004]. It includes a special chapter about the new Swiss glacier inventory 2000 (Chapter 5.2) and on two selected research projects (Chapter 6).

Summary

In the course of the 123rd and 124th year under review by the Cryospheric Commission, Swiss glaciers suffered further losses in length and mass. Unmistakable traces were left by global and regional climate change associated with obvious warming, and the prevailing atmospheric conditions during the measurement periods. Glaciers in the Swiss Alps continue to retreat at an undiminished rate.

In autumn 2002 a length variation for 86 of 92 observed glaciers could be determined, while one year later a result was obtained for 99 glaciers, made possible by good measurement conditions due to the widespread melt-out at the glacier tongues. In the period 2001/02, the first period under review, a moderate mass loss was found on the three glaciers: Gries, Silvretta and Basòdino, where the mass balance was being investigated. In the subsequent period an extreme mass loss was observed, exceeding maximum loss values from the years with massive retreat of 1990/91 and 1997/98. The intense melting which occurred during the hot and dry summer of 2003 prevented a serious shortage of water from occurring during these hot summer months with little precipitation in the Swiss Alps.

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 Mühll	116	1994/95
M. Hoelzle und D. Vonder Mühll	117	1995/96
M. Hoelzle, D. Vonder Mühll, A. Bauder und G.H. Gudmundsson	118	1996/97
M. Hoelzle, D. Vonder Mühll und M. Maisch	119	1997/98
M. Hoelzle, D. Vonder Mühll, M. Schwikowski und H.W. Gäggeler	120	1998/99
A. Bauder, A. Vieli und M. Hoelzle	121	1999/00
A. Bauder und M. Hoelzle	122	2000/01

Authors of the two year reports:	No.	Year
A. Bauder, C. Schär und H. Blatter	123 -124	2001/02 - 2002/03

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
E. Herren, A. Bauder, M. Hoelzle and M. Maisch	121/122	1999/00 - 2000/01
E. Herren and A. Bauder	123/124	2001/02 - 2002/03

Contents

Preface – Summary	III
Published Reports	IV
1 Weather and Climate	1
1.1 Introduction	1
1.2 Weather and Climate in 2001/02	1
1.3 Weather and Climate in 2002/03	3
1.4 Climate in 2001/02 and in 2002/03, Summary Deviation from the Mean Value 1961-1990	6
2 Length Variations	7
2.1 Introduction	7
2.2 Length Variations in 2001/02	7
2.3 Length Variations in 2002/03	7
2.4 Length Variations in 2001/02 and in 2002/03, Summary	9
2.5 Length Variations - Statistics for 1880-2003	16
2.6 Glacier Observation Network	20
3 Mass Balance	21
3.1 Introduction, Cumulative Mean Specific Net Balances	21
3.2 Mass Balance in 2001/02	22
3.3 Mass Balance in 2002/03	23
3.4 Summary Tables	22
3.5 Griesgletscher (Aegina)	26
3.6 Silvrettagletscher	28
3.7 Ghiacciaio del Basòdino (Ticino)	30
3.8 Point measurements on Claridenfirn	33
4 Velocity of Some Specific Glaciers	37
4.1 Introduction	37
4.2 Glacier du Giéto	37
4.3 Glacier de Corbassière	39
4.4 Aare Glaciers	41

5	Remote Sensing	45
5.1	Aerial Photographs	45
5.2	The new Swiss Glacier Inventory 2000	51
6	Selected Research Projects	59
6.1	The Summer of 2003 from a Climatological Perspective.....	59
6.2	Modelling Mass Balance Distribution over Glacierized Mountain Ranges	61
	References	67
	Acknowledgements	72
	Appendix	73
I.	Remarks on individual Glaciers (in German, French or Italian)	73
II.	Investigators of the individual Glaciers	96

1 Weather and Climate

1.1 Introduction

Throughout the world, the years 2002 and 2003 were among the warmest since instrumental measurements were begun in 1860. The global temperature mean on the earth's surface surpassed the long-term mean value from 1961 to 1990 by +0.45 °C (WMO, 2003). Thus with a temperature of +0.55 °C above the long-term mean, 1998 remained the warmest year on record. The number of extreme climatic events or conditions such as drought, flooding or hurricanes was once again well above average. In 2003, according to the available records, the snow cover extent in the northern hemisphere was second-greatest ever. By contrast, the sea ice extent in Arctic waters recorded in September of both 2002 and 2003 was smaller than ever before since satellite measurements were begun in 1978.

The two hydrological years under review were warm in Switzerland as well. The year 2003 in particular is recorded as being predominantly low in precipitation. A short summary of the climate conditions in Switzerland during the two periods under review is presented in the following two sections. In Chapter 6.1, the extraordinary heat-wave in summer 2003 is further highlighted by a climatological perspective.

Both the weather and the climate data are taken from reports by the Federal Office of Meteorology and Climatology (MeteoSwiss) [MeteoSwiss, 2001-03a,b].

1.2 Weather and Climate in 2001/02

Weather and Climate Conditions in the 2001/02 Hydrological Year

During the first period under review – the hydrological year 2001/02 – following warm temperatures in October, winter began in November in the north, and then in December in the south. The cold temperatures persisted, and led to a slight freezing of some low altitude lakes. Winter was of short duration. The subsequent first half of the year was very warm, followed by an extended period of dryness south of the Alps between the end of October 2001 and early February 2002. In April and the first days of May 2001, heavy storms with extreme levels of precipitation afflicted Ticino, the region of Uri and parts of the upper Grisons. The 2001/02 hydrological year ended with an unusually powerful onset of winter in late September.

Key Climatic Features from the “Monthly Weather Reports of MeteoSwiss”

2001

October	Record temperatures and abundant sunshine on the north side of the Alps, dry in Valais
November	Dryness in the south, early winter on the north side of the Alps
December	Massive cold snap, extremely dry on the south side of the Alps
Year overall	Warm and quite sunny in the lowlands, wet on the north side of the Alps

2002

January	Freezing of lakes at the beginning, then very warm, extremely dry in the south
February	Extremely mild, changeable and windy, sunny in the south
March	Very mild with abundant sunshine, dryness in the south
April	Mild and sunny in the north, very dry in the west and in the south
May	Changeable and wet, extreme amounts of precipitation in the south and in the Canton Uri
June	Sunny and extremely warm, probably record-breaking heat period
July	Rather changeable, in some areas heavy rainfalls in the middle of the month
August	Changeable, above average amounts of precipitation, local heavy thunderstorms
September	Cool, dull, abundant rainfall in the north, extreme cold snap
Year overall	Very warm and wet, extreme precipitation in the south and in Grisons

Temperature

During the first period under review, the number of months with above-average temperatures dominated. October, January, February, March, May and June were clearly warmer than the long-term average. September and December were noticeably colder than usual. Once again, the previous trend continued, characterized by higher average annual temperatures. In 2002, the values in the Alps were 1 °C above average during the radiation-intensive summer months which are important for snowmelt (May and June), and for the disappearance of the snow cover on the glaciers (July to September).

Precipitation

In the first year under review the precipitation amounts were somewhat below average. Slight surpluses were recorded only on the north-alpine slopes of the central and eastern regions. In Switzerland as a whole, only the month of May was unseasonably wet, whereas December, January and April were too dry. Deviations from the average values ranged between 60 % in the south and 110 % in the north. In many places, just a few intense precipitation events contributed substantially to the yearly totals. The south-easterly regions of the Swiss Alps were characterized by a dry period with very little snow lasting for over 100 days between the end of October and the beginning of February.

Sunshine duration

The number of hours of sunshine lay within the normal range. February, August and September had little sunshine, while in the months of October, December, January, March, April and June above-

average sunshine duration was achieved, with the major portion recorded in June due to more daylight hours in this month. In the Alps, sunshine duration was generally shorter.

1.3 Weather and Climate in 2002/03

Weather and Climate Conditions in the 2002/03 Hydrological Year

At the beginning of the second period, 2002/03, the early part of winter was wet and low in sunshine duration. Once again, intense precipitation was triggered by adverse weather conditions in the cantons of Grisons, Uri and Ticino. An extremely mild December was followed by a cold first half of January. Winter returned with full force at the beginning of February with abundant snowfall and a subsequent cold period. As early as the beginning of March early summer conditions prevailed. This changed abruptly in early April with an intrusion of cold air, followed by the first summer days with temperatures over 25 °C in the final days of April. The summer of 2003 surpassed by far the temperatures of the previous hottest summers of 1947 and 1994 (chapter 6.1). The Alpine region was largely subject to high pressure cells, which produced extreme dryness and very long sunshine duration. There was hardly any storm activity, with the exception of localized hailstorms at the start of May on the north side of the Alps, and heavy precipitation in late August in Ticino. At the end of August, several intrusions of polar air led to a rapid drop in temperatures, bringing summer to an end.

Key Climatic Features from the “Monthly Weather Reports of MeteoSwiss”

2002

October	Changeable, wet in the north with autumn storms
November	Mild, extreme precipitation, adverse weather conditions in Grisons and Ticino
December	Extremely mild with very little sun in the lowlands – often quite sunny in the mountains
Year overall	Very warm and wet, extreme precipitation in the south and in Grisons

2003

January	Highly changeable weather patterns – too dry in the south
February	Cold, very dry in parts and very sunny in the Alps – onset of winter in north
March	Mild and extremely sunny – very little precipitation, esp. in the south-east
April	Warm, very sunny, and dry in the east and south, night of 7-8 April very cold
May	Very warm start, first heavy hailstorms – record heat in south
June	Hottest June in living memory – extremely sunny, very dry
July	Cool start, then extreme dryness and heat – many thunderstorms from mid-month
August	New record temperatures – hottest summer since the 16 th century
September	Little rain, sunny in German Switzerland especially - late summer starting mid-month
Year overall	Extremely warm, sunny and little precipitation – record-breaking summer

Precipitation 2001 / 02

(Oct 01 – Sep 02)

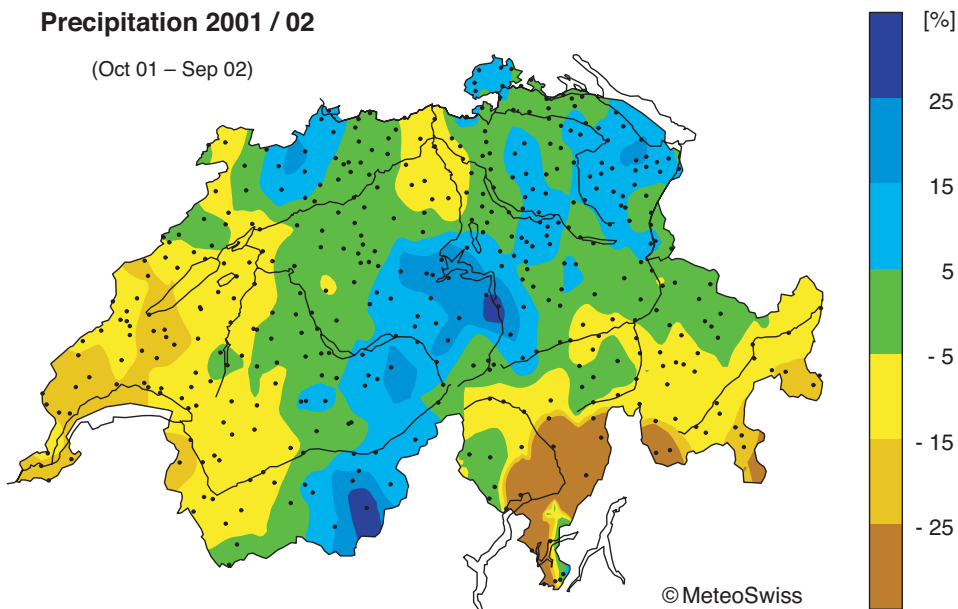


Figure 1.1a: Annual precipitation 2001/02 – Deviation from the mean value 1901-1960. Deviation in percentage.

Temperature 2002

(May 02 – Sep 03)

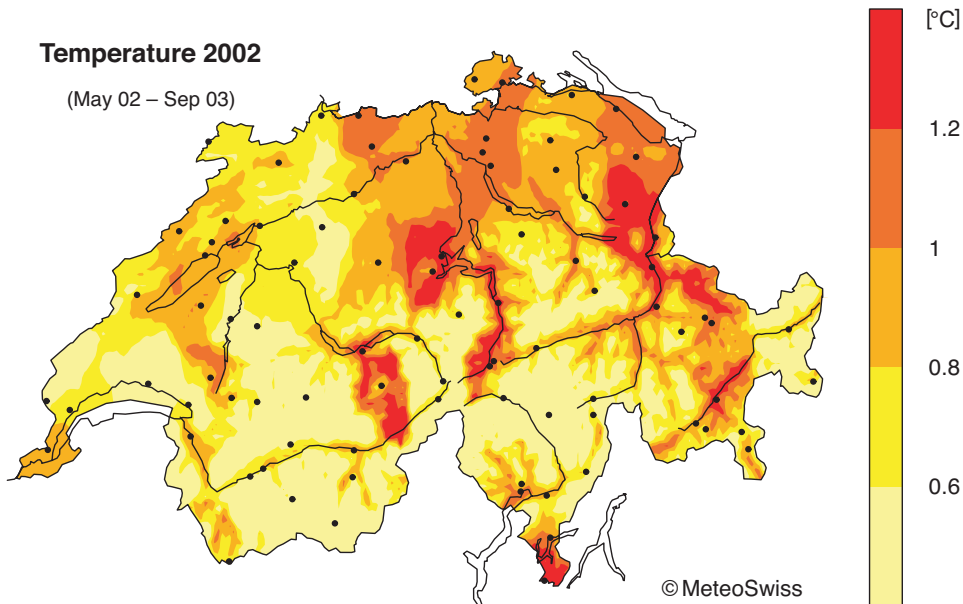


Figure 1.1b: Mean summer air temperatures 2002 – Deviation from the mean value 1901-1960. Deviation in degree Celcius.

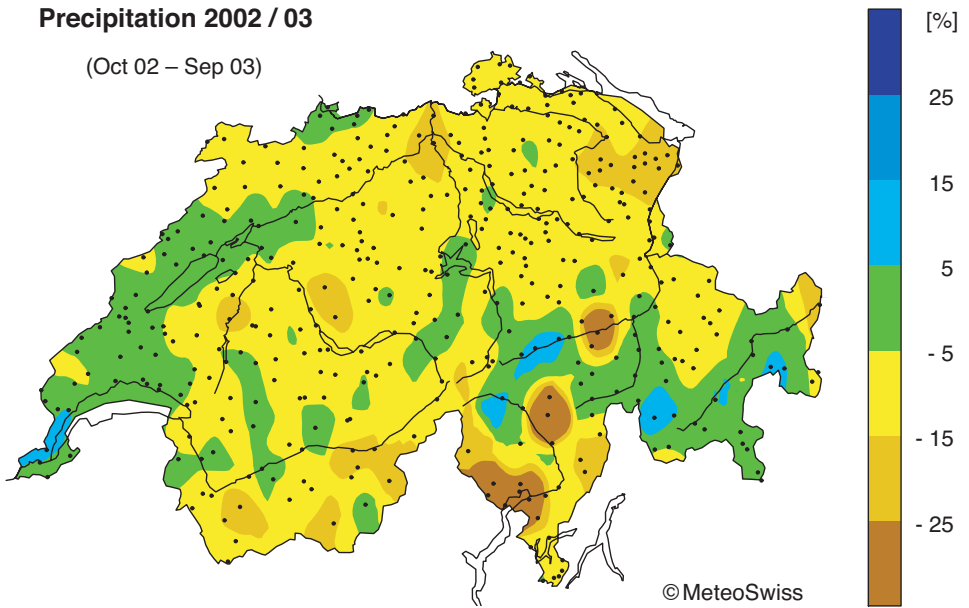


Figure 1.2a: Annual precipitation 2002/03 – Deviation from the mean value 1901-1960. Deviation in percentage.

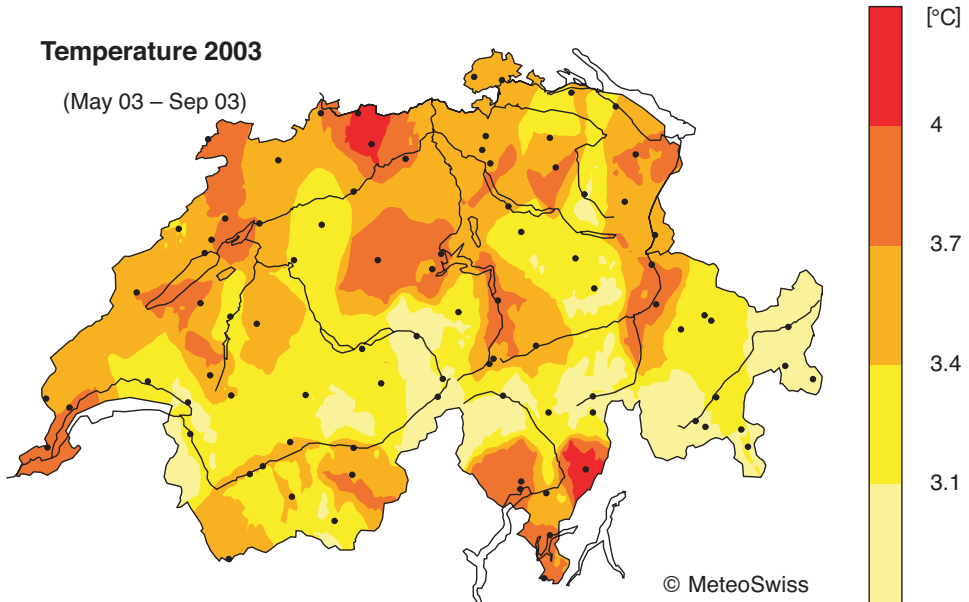


Figure 1.2b: Mean summer air temperatures 2003 – Deviation from the mean value 1901-1960. Deviation in degree Celcius.

Temperature

Once again the second period under review was dominated by months with unseasonably high temperatures. November, December, March, April, May, June, July and August were much warmer than the long-term average. February was the only month that was much colder. The trend continued toward higher average annual temperatures. During the summer months values in the Alps were 3 to 4 °C above average. After the very hot summers of 2000 and 2002, temperatures in 2003 rose to an order of magnitude that was previously almost inconceivable.

Precipitation

The period of 2002/03 was one of ten with the least amount of precipitation since 1901 in most parts of the country. An above-average wet November in all regions of Switzerland stood in contrast to the months of February, March, April, May, June and August, which were distinctly too dry. It was extremely dry from February to June, and this dry state was further aggravated by the immensely hot summer. Even the record orographic precipitation from mid-November was not able to prevent the deficit that had developed. Thus in many parts of Switzerland the yearly totals amounted to only 70 to 85 % of the normal values, in the upper Valais, Ticino and southern Grisons, only 50 %.

Sunshine duration

Extreme above-average values for sunshine duration were recorded in the second period under review. The months of November and December, which showed a deficit in many places, stood in contrast to the months of February, March, April and June, with their abundant sunshine, while March and June were very warm as well. In the Alps, convective clouds developed more frequently during the hot summer months, which meant that surpluses in sunshine duration were not as high. In many areas this was the sunniest year since measurements were first conducted around 1880, and in other areas, the sunniest since at least 1949.

1.4 Climate in 2001/02 and in 2002/03, Summary Deviation from the Mean Value 1961-1990

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 [MeteoSwiss,2001-2003b]. Deviations from the mean values in the standard climatological period 1961-1990 are presented [Aschwanden et al., 1996; Begert et al., 2003]. Data are taken from the different observational networks ANETZ, ENET, KLIMA and NIME maintained by MeteoSwiss.

2 Length Variations

2.1 Introduction

Of the 121 glaciers registered in the observation network, 110 are currently being actively observed (Figures 2.1 a+b, 2.3a+b and Table 2.1). The other glaciers (compare Table 2.1, remarks) have melted back drastically, and are often debris-covered, on one hand, with the result that it is simply not possible to carry out a proper survey at yearly intervals. On the other hand, a number of glaciers were observed only at irregular intervals, and produced individual measurement values that were very imprecise, which certainly does not justify preserving these figures in the charts and analyses.

2.2 Length Variations in 2001/02

In the autumn of 2002 it was possible to visit 92 glacier tongues for collecting data, and to determine a change in length for 85 of them. While 78 of them, or the majority, were in retreat, five were stationary (± 1 m), and only 2 tongues were advancing (Figure 2.3a). The maximum amounts recorded revealed a minimal advance of +6 m at the Glacier du Mont Durand and a retreat of -94 m at the Surettagletscher. The retreat of -118 m at the Findelengletscher took place over a span of 2 years of observation. Most of the measured values were between 0 and -30 m. Aside from the maximum retreat values, there were only a few retreat values in the upper range to report, most of which can be traced to local influences.

A massive advance was measured at Surettagletscher in the period of 2000/01, and thus the large retreat amount was not a cause for surprise a year later. The positive measurement value of the previous period was caused by long-term multi-year old snow at the glacier tongue which had not melted out at all over a period of several years. It was evident, nevertheless, that the ice masses directly accumulated at the glacier tongue, melted away again rapidly. This behaviour is in contrast to a real glacier advance during which a mass surplus is formed in the accumulation area as a consequence of long-term cooler weather conditions with abundant precipitation. The changed mass conditions then trigger a dynamic reaction of the glacier, which propagates as far as the tongue with a time delay.

2.3 Length Variations in 2002/03

In the autumn of 2003 it was possible, not least due to the prevailing optimal measurement conditions with favourable melt-out, to visit as many as 108 glacier tongues and determine a length change for 99 of them. For all of the glaciers observed, a loss of length was calculated. The retreat

values recorded range from about -1 m at Schwarz glacier to a considerable -152 m at Triftgletscher and -159 m at Bruneggletscher.

The majority of measurement values lay between 0 and -30 m in the second review period as well, and once again, only individual larger retreat values were recorded which, as shown in the following examples, were the consequence of special situations.

The tongue of the Triftgletscher in the Susten-/Grimsel region extends into a lake. Thus the retreat of the glacier is enhanced by calving and additional heat supply. In the course of recent years the lake grew continuously at the expense of the glacier, with the result that a large portion melted away in the summer of 2003.

In other instances, a flat glacier terminus progressively thins out, or part of the tongue separates completely from the glacier due to a lack of mass delivery from above, which triggers an abrupt retreat of the tongue over a steep section, subsequently attaining a more stable situation once again. This process could be witnessed in recent years at Bruneggletscher in Turtmann valley and at the Vadret Tiatscha in lower Engadine, and is currently about to occur also at the Dammagletscher.



*Photo 1:
Dammagletscher 2003: At the steep slope, the debris-covered terminus is no longer in contact with the rest of the glacier.*

(Photo: Archives VAW / Amt für Forst und Jagt UR)

2.4 Length Variations in 2001/02 and in 2002/03, Summary

Table 2.1: Length variations in 2001/02 and in 2002/03

No. ^a	Glacier	Ct. ^b	Length variation ^c		Altitude ^d [m a.s.l.]	Date of measurement [Day, Month]		
			2001/02	2002/03		2003	2001	2002
Catchment area of the Rhone (II)								
1 ^{e,f}	Rhone	VS	- 11.1	- 2.0	2209.4	23.08.	13.09.	8.08.
2 ^{e,f}	Mutt	VS	- 2.2	- 7.6	2622.9 ⁰⁰	13.09.	31.08.	5.08.
3 ^{e,f}	Gries	VS	- 26.4	- 29.9	2395.0	23.08.	16.09.	23.08.
4 ^{e,f}	Fiescher	VS	n	- x ^{2a}	1681 ⁰¹	17.09.	n	19.10.
5 ^{e,f}	Grosser Aletsch	VS	- 57.0	- 28.4	1559.9	23.08.	16.09.	8.08.
6 ^{e,f}	Oberaletsch	VS	n	- 25.7 ^{2a}	2142	18.09.	n	3.09.
7 ^{e,f}	Kaltwasser	VS	- 19.0	- 16.9		5.10.	3.10.	26.09.
10 ^f	Schwarzberg	VS	- 15	- 12	2660	24.08.	16.09.	13.08.
11 ^f	Allalin	VS	+ 14.5	- 52.6	2612.2	24.08.	16.09.	13.08.
12 ^e	Kessjen	VS	- 3.5	- 15.5	2863	24.08.	16.09.	13.08.
13 ^{e,f}	Fee (Nord)	VS	- 65.1	- 23.7	2135 ⁰²	30.10.	1.10.	15.10.
14 ^{e,f}	Gorner	VS	- 6.2	- 16	2160	26.09.	16.10.	2.10.
16 ^{e,f}	Findelen	VS	-118.1 ^{2a}	- 18.8	2491.4	n	16.09.	8.08.
17 ^e	Ried	VS	n	- 62.2 ^{2a}	2070	17.09.	n	10.09.
18 ^f	Lang	VS	- 23.7	- 16.3	2065	15.11.	12.11.	22.10.
19 ^{e,f}	Turtmann	VS	- 9.6	-126.9	2264	5.10.	7.09.	20.09.
20 ^e	Brunegg (Turtmann Ost)	VS	- 30.5	-156.9	2500	5.10.	7.09.	20.09.
21 ^e	Bella Tola	VS	- 4.9	- 10.0		6.10.	31.10.	21.09.
22 ^f	Zinal	VS	- 4	- 4.3	2040 ⁰¹	6.10.	15.10.	12.10.
23 ^{e,f}	Moming	VS	x	n	2630 ⁰²	6.10.	15.10.	n
24 ^f	Moiry	VS	- 18.5	- 21	2400	3.10.	15.10.	13.10.
25 ^{e,f}	Ferpècle	VS	- 15	- 20		23.09.	13.10.	16.10.
26	Mont Miné	VS	- 61	- 32		23.09.	13.10.	14.09.
27 ^{e,f}	Arolla (Mont Collon)	VS	- 24	- 10		23.09.	12.10.	14.09.
28 ^f	Tsidjiore Nouve	VS	- 52	- 33		23.09.	12.10.	14.09.
29 ^{e,f}	Cheillon	VS	- 5.7	n	2650	3.10.	3.10.	n
30 ^{e,f}	En Darrey	VS	st	- 8	2440	27.09.	3.10.	10.10.
31 ^{e,f}	Grand Désert	VS	- 30.6	- 72		6.10.	14.09.	19.09.
32 ^{e,f}	Mont Fort (Tortin)	VS	n	- 34.8 ^{2a}		14.10.	n	22.09.

No. ^a	Glacier	Ct. ^b	Length variation ^c		Altitude ^d [m a.s.l.]	Date of measurement [Day, Month]		
			2001/02	2002/03		2003	2001	2002
33 ^{e,f}	Tsanfleuron	VS	- 75	- 13.5		14.09.	11.10.	3.09.
34 ^e	Otemma	VS	- 29.2	-107.0	2460	6.10.	2.09.	16.09.
35 ^e	Mont Durand	VS	+ 6.2	- 26.1		8.10.	31.08.	14.09.
36 ^e	Breney	VS	- 40.1	-108.3	2575	5.10.	14.09.	15.09.
37	Giétro	VS	- 7.0	- 4.8	2529.7	5.10.	16.09.	2.08.
38 ^e	Corbassière	VS	- 11.0	- 34.3	2199.7	17.10.	16.09.	2.08.
39 ^f	Valsorey	VS	n	- 51 ^{2a}	2396.5	16.10.	n	8.10.
40 ^e	Tseudet	VS	n	- 30.5 ^{2a}	2451.7	16.10.	n	8.10.
41	Boveyre	VS	n	- 30 ^{2a}	2618	5.11.	n	18.10.
42 ^f	Saleina	VS	- 14	- 54	1783.7	8.10.	8.09.	1.10.
43 ^{e,f}	Trient	VS	- 35	- 50	2000 ca.	15.09.	7.09.	22.09.
44 ^{e,f}	Paneyrosse	VD	n	- 2.2 ^{2a}		17.10.	n	27.08.
45 ^{e,f}	Grand Plan Névé	VD	n	- 12.5 ^{2a}		17.10.	n	27.08.
47 ^{e,f}	Sex Rouge	VD	- 5.5	- 6.4		27.08.	30.08.	16.09.
48 ^e	Prapio	VD	- 1.0	- 4	2525 ca.	27.08.	30.08.	9.08.
Catchment area of the Aare (1a):								
50 ^f	Oberaar	BE	- x	- x		n	13.09.	14.07.
51 ^{e,f}	Unteraar	BE	- x	- x	1928	22.08.	13.09.	14.07.
52 ^e	Gauli	BE	- 55 ^{2a}	- 27	2110	n	29.10.	15.09.
53 ^{e,f}	Stein	BE	- 18	- 27	1950	27.09.	16.09.	19.09.
54 ^e	Steinlimmi	BE	- 18	- 34.5	2100	27.09.	16.09.	19.09.
55 ^{e,f}	Trift (Gadmen)	BE	- 89.3.	-152.1	1651.2	26.08.	13.09.	4.09.
57 ^{e,f}	Oberer Grindelwald	BE	- x	- x		27.10.	4.10.	12.10.
58 ^f	Unterer Grindelwald	BE	- x	- x		27.10.	4.10.	12.10.
59 ^e	Eiger	BE	- 20.8	- 11.6	2194 ⁰¹	21.09.	19.09.	18.09.
60 ^e	Tschingel	BE	- 9.3	- 7.8	2266 ⁰⁰	28.09.	20.09.	19.09.
61 ^f	Gamchi	BE	- 14.4	- 21.4	1950	14.10.	15.09.	28.09.
109 ^e	Alpetli	BE	- 41.0	- 33	2250	27.09.	22.10.	22.09.
62 ^{e,f}	Schwarz	VS	- 6.4	- 1.2	2265	28.09.	13.09.	12.09.
63 ^e	Lämmern	VS	- 9.4	- 11.5	2530	25.08.	14.09.	13.09.
64 ^{e,f}	Blümlisalp	BE	- 10.8	- 46.7	2250 ⁹⁷	2.10.	21.09.	25.09.
111 ^e	Ammerten	BE	- 0.6 ^{2a}	- 4.2	2350 ca.	n	13.10.	14.09.
65 ^{e,f}	Rätzli	BE	n	x	2450 ⁰¹	16.10.	n	18.09.

No. ^a	Glacier	Ct. ^b	Length variation ^c		Altitude ^d [m a.s.l.]	Date of measurement [Day, Month]		
			2001/02	2002/03		2003	2001	2002
112 ^e	Gelten	BE	n	- 26 ^{4a}	2500 ca.	n	n	22.09.
113 ^e	Dungel	BE	n	- x	2600 ca.	n	n	7.09.
Catchment area of the Reuss (lb):								
66 ^{e,f}	Tiefen	UR	- 15.3	- 22.1	2520	6.10.	7.09.	14.09.
67 ^{e,f}	Sankt Anna	UR	- 7.8 ^{2a}	- 17.9	2580	n	17.09.	26.09.
68 ^{e,f}	Kehlen	UR	- 23.4	- 24.1	2195	5.10.	17.09.	25.09.
69 ^e	Rotfirn (Nord)	UR	- 9.2	- 41.1	2035	5.10.	17.09.	25.09.
70 ^{e,f}	Damma	UR	- 16.8	- 10.7	2085	15.10.	22.10.	15.10.
71 ^{e,f}	Wallenbur	UR	- 4.8	- 6.2	2250 ⁰¹	16.10.	31.10.	18.09.
72 ^{e,f}	Brunni	UR	n	- 7.2 ^{6a}	2560	n	n	19.09.
73 ^{e,f}	Hüfi	UR	- 19.0	- 61.5	1647	12.10.	23.10.	19.09.
74 ^{e,f}	Griess	UR	- 5.2	- 14.6	2223 ⁹⁹	12.10.	16.10.	18.09.
75 ^{e,f}	Firnalpeli (Ost)	OW	+ 0.7 ^{2a}	- 14	2180 ⁹⁷	n	30.08.	14.08.
76 ^{e,f}	Griessen	OW	+ 1.2	- 11.3	2470	18.10.	22.08.	22.08.
Catchment area of the Linth / Limmat (lc):								
77 ^{e,f}	Biferten	GL	- 5.5	- 15.9	1949.9	6.10.	31.08.	18.10.
78 ^e	Limmern	GL	- 6.2	- 5.5	2270	20.10.	7.09.	6.09.
114 ^e	Plattalva	GL	- 8.5	- 22	2529	19.10.	6.09.	6.09.
79 ^{e,f}	Sulz	GL	n	- 16.5 ^{2a}	1798	6.10.	n	3.10.
80 ^{e,f}	Glärnisch	GL	- 2.6	- 14.9	2326.1	25.08.	27.07.	2.08.
81 ^{e,f}	Pizol	SG	- 41.1 ^{2a}	- 29.6	2600 ca.	n	14.09.	4.09.
Catchment area of the Rhine / Lake Constance (ld):								
82 ^f	Lavaz	GR	x	x	2390	n	29.08.	2.09.
83 ^{e,f}	Punteglias	GR	n	- 10 ^{2a}	2350	27.10.	n	27.10.
84 ^{e,f}	Lenta	GR	- 19.4	- 9.8	2320	8.10.	9.10.	12.08.
85 ^{e,f}	Vorab	GR	n	- 39.9 ^{3a}	2615 ⁹⁹	n	n	14.08.
86 ^{e,f}	Paradies	GR	- 3.9	- 10.5	2683.5	11.09.	10.09.	4.09.
87 ^e	Suretta	GR	- 93.8	- 8.2	2212	28.09.	12.09.	14.08.
88 ^f	Porchabella	GR	n	- 32 ^{2a}	2646	10.10.	n	20.08.
115 ^e	Scaletta	GR	n	- 15.5 ^{3a}	2580 ⁹⁹	n	n	5.09.
89 ^{e,f}	Verstankla	GR	- 24	- 22	2400	27.08.	27.08.	26.08.
90 ^e	Silvretta	GR	- 10.9 ^{2a}	- 6.6	2463.2	n	17.09.	13.08.
91 ^{e,f}	Sardona	SG	- 0.8 ^{2a}	- 22.2	2450	n	6.09.	28.08.

No. ^a	Glacier	Ct. ^b	Length variation ^c		Altitude ^d [m a.s.l.]	Date of measurement [Day, Month]		
			2001/02	2002/03		2003	2001	2002
Catchment area of the Inn (V):								
92 ^{e,f}	Roseg	GR	- 4.1	- 53.5	2160	17.10.	9.10.	28.10.
93 ^e	Tschierva	GR	- 55.2	- 48.8	2300	17.10	9.10.	28.10.
94 ^{e,f}	Morteratsch	GR	- 30.2	- 76.5	2724	17.10.	10.10.	25.10.
95 ^e	Calderas	GR	- 8.6	- 44.8	2723	27.08.	26.08.	26.08.
96 ^{e,f}	Tiatscha	GR	- 21.5	- 15	2650 ca.	16.10.	7.10.	27.08.
97 ^e	Sesvenna	GR	n	- 74.1 ^{2a}	2733	16.10.	n	19.10.
98 ^{e,f}	Lischana	GR	- 27.7	- 52.2	2795	6.10.	18.09.	1.09.
Catchment area of the Adda (IV):								
99 ^e	Cambrena	GR	- 14	- 17	2510	13.09.	15.09.	20.08.
100 ^{e,f}	Palü	GR	- 28	n	2330 ⁰²	18.09.	13.09.	n
101 ^e	Paradisino (Campo)	GR	- 6.5	- 52	2810	26.08.	14.09.	14.08.
102 ^{e,f}	Forno	GR	- 23.4	- 25.6	2232 ⁰²	7.09.	6.09.	26.08.
Catchment area of the Ticino (III):								
120 ^e	Corno	TI	- 1.5	- 56.3	2560	13.09.	29.08.	5.09.
117 ^e	Valleggia	TI	- 1.8	- 7.5	2425	3.09.	6.09.	2.09.
118 ^e	Val Torta	TI	- 1.7	- 4.8	2512	3.09.	6.09.	3.09.
103 ^{e,f}	Bresciana	TI	- 18.8	- 77.1	2910	25.10.	14.09.	17.09.
119 ^e	Cavagnoli	TI	- 11.7	- 20.3	2522	28.08.	18.09.	25.09.
104 ^{e,f}	Basòdino	TI	- 16.1	- 18.3	2536	11.10.	17.09.	26.09.
352 ^e	Croslina	TI	- 2.4	- 8.4	2703	12.10.	11.09.	19.09.
105 ^{e,f}	Rossboden	VS	- 0.1	n	1930 ca.	3.10.	3.10.	n

Legend

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

- a Identification number of the glacier in the observation network (see Figure 2.3a 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 2003, the year of the last measurement is indicated: 2522⁹⁹ = 2522 m above sea level, measured in the year 1999.
- 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 73 glaciers selected in Figure 2.1a,b.

Remarks

Table 2.1 no longer includes a) glaciers which have melted back drastically and are often debris-covered, making it impossible to carry out a proper survey at yearly intervals (Mittelaletsch, Tälliboden, Ofental, Zmutt), and b) glaciers observed only at irregular intervals and/or that yield imprecise measurement values, which does not justify retaining these figures in the charts and analyses (Bis, Orny, Martinets, Pierredar, Rosenlauri, Lötschberg, Albigna).



a) 1983

b) 1993





c) 2003

*Photos 2:
Glacier du Mont Durand a) 1983, b) 1993 und c) 2003: In the early 1990s a strong advance was recorded, followed by a period with little change. Then the glacier tongue retreated drastically in 2002/03. The rock outcrop (arrow) at the tongue, which disappeared temporarily, is re-emerging.
(Photo: Archives VAW / J.J. Chabloz)*

2.5 Length Variations – Statistics for 1880-2003

The long-term development of glaciers in Switzerland is illustrated by taking a selected sample from the Swiss glacier network (Figure 2.1a,b), and the cumulative glacier length variations which have been classified according to length (Figures 2.2a-d).

The dynamic response to climatic forcing of glaciers with variable geometry involves striking differences in the recorded curves (Figures 2.1b and 2.2a-d) [Hoelzle et al., 2003]. Such differences reflect the considerable effects of size-dependent filtering, smoothing, and enhancing of the delayed tongue response with respect to the undelayed input (mass balance) signal. As a consequence, the still-popular straight averaging of annual length-change data presented here as annual percentages of advancing and retreating glaciers obscures essential aspects of the observed signal and should be interpreted carefully.

In order to avoid having a glacier sample whose scope changes annually, not all glaciers were included in Figure 2.1a,b. 73 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 73 glaciers are indicated by a footnote f. The glaciers are assigned to 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, and the periods of advance, such as

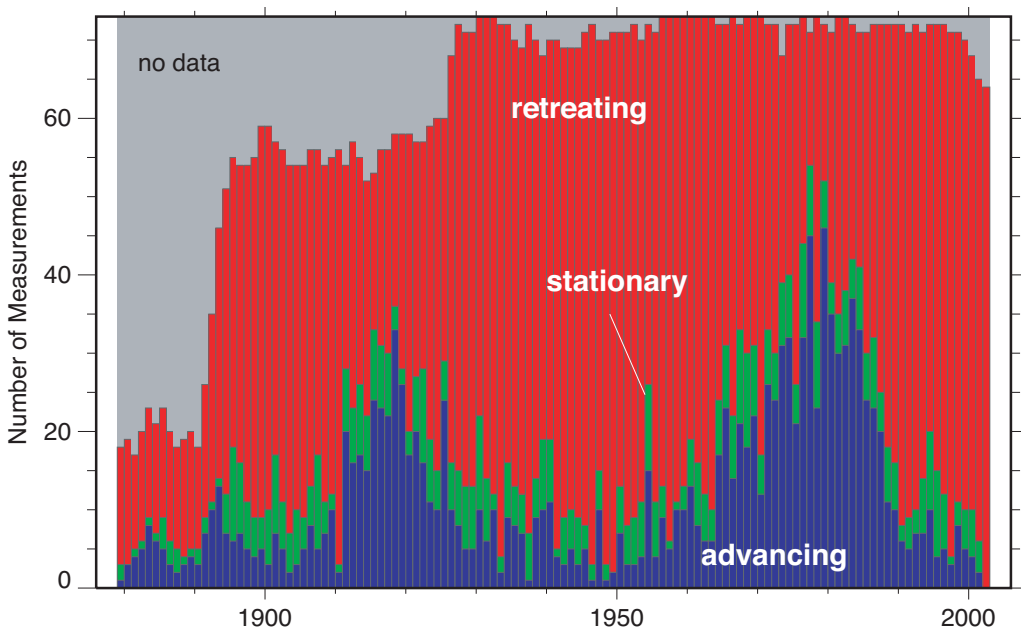


Figure 2.1a: Yearly classification of glacier length behaviour (advancing, stationary and retreating) of 73 selected glaciers (cf. Table 2.1).

those in the 1920s and the 1980s, can be seen clearly. For the purpose of intercomparison, values of cumulative length change are presented with respect to size categories chosen in a way to optimally reflect common characteristics of the tongue-reaction signal. Figure 2.1b shows the annual and individual length change of all 73 selected glaciers. It is well recognized that large glaciers, such as Grosser Aletschgletscher, show continuous retreat since 1880, in contrast to the smaller glaciers such as Pizolgletscher, with its highly variable behaviour.

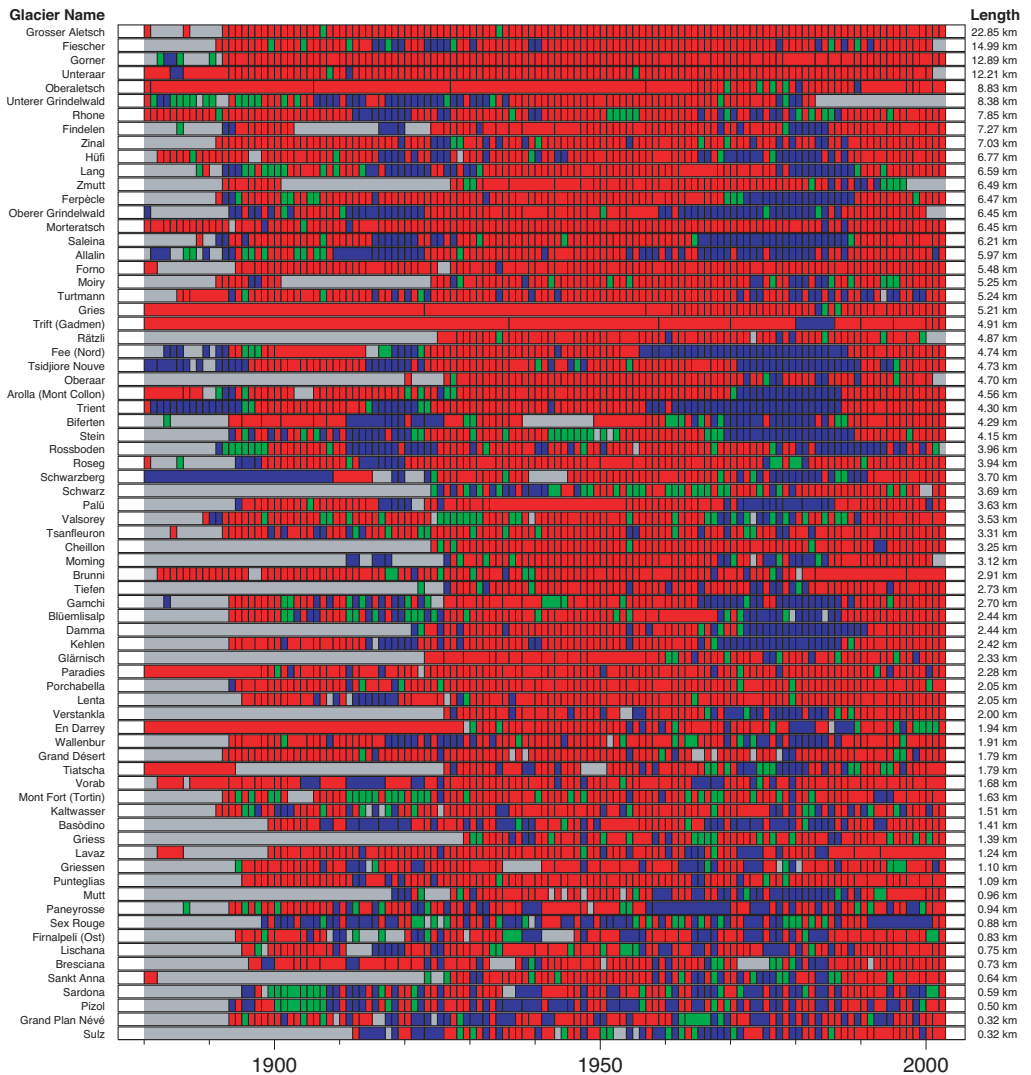
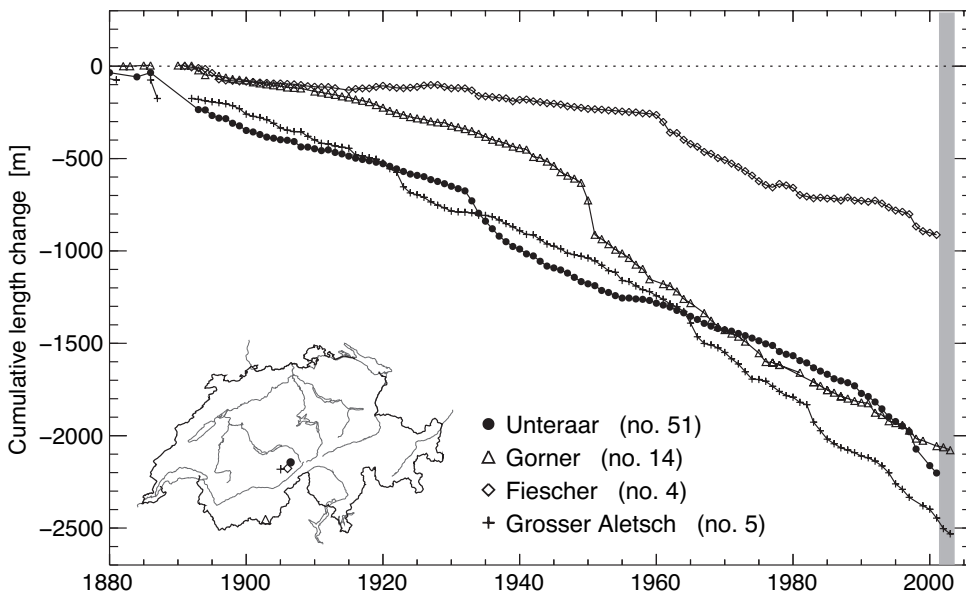


Figure 2.1b: Individual yearly patterns of the same 73 selected glaciers (displayed in the descending order of glacier length).



Figures 2.2a-d: Summary of yearly length variations (in m) for glaciers in various length categories:
 Figure 2.2a: Large valley glaciers with a length of more than 10 km.

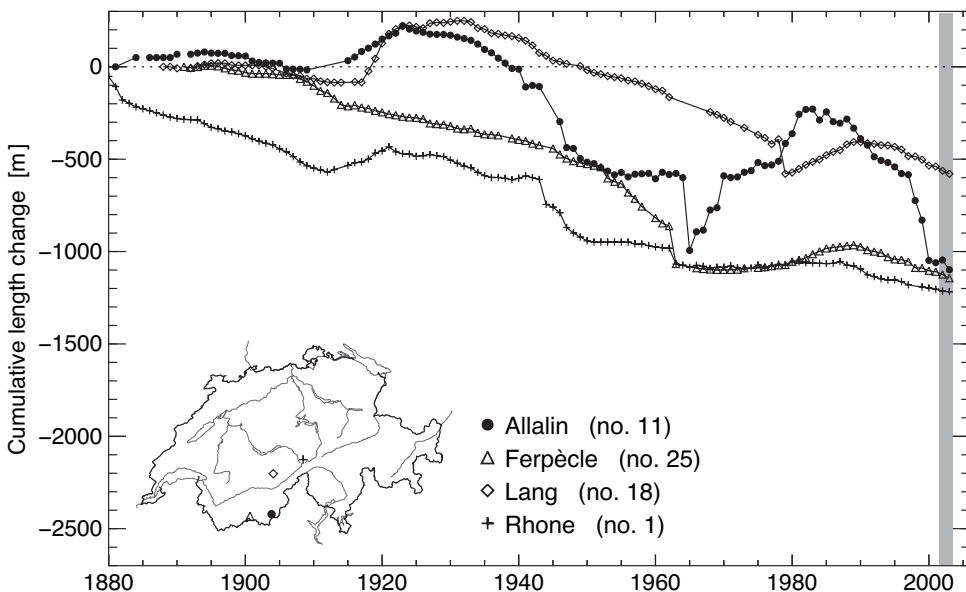


Figure 2.2b: Mountain glaciers with a length of 5 – < 10 km.

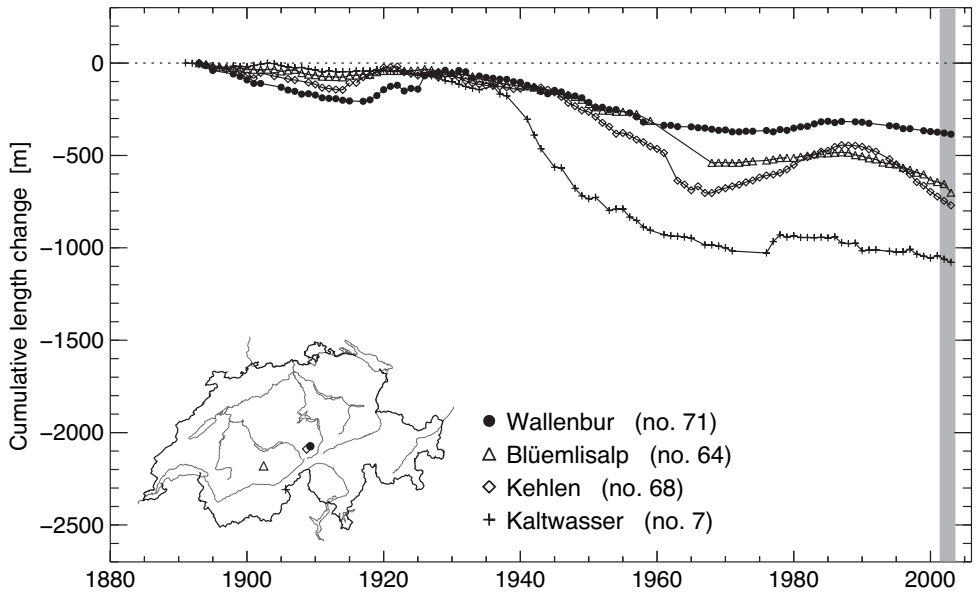


Figure 2.2c: Small mountain glaciers with a length of $1 < \text{length} < 5$ km.

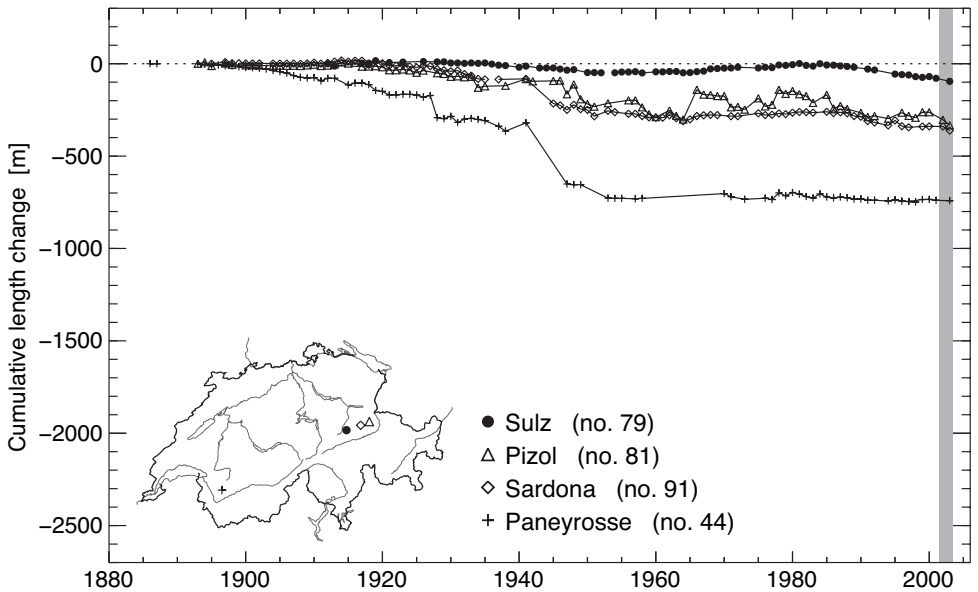


Figure 2.2d: Very small cirque glaciers with a length of less than 1 km.

2.6 Glacier Observation Network

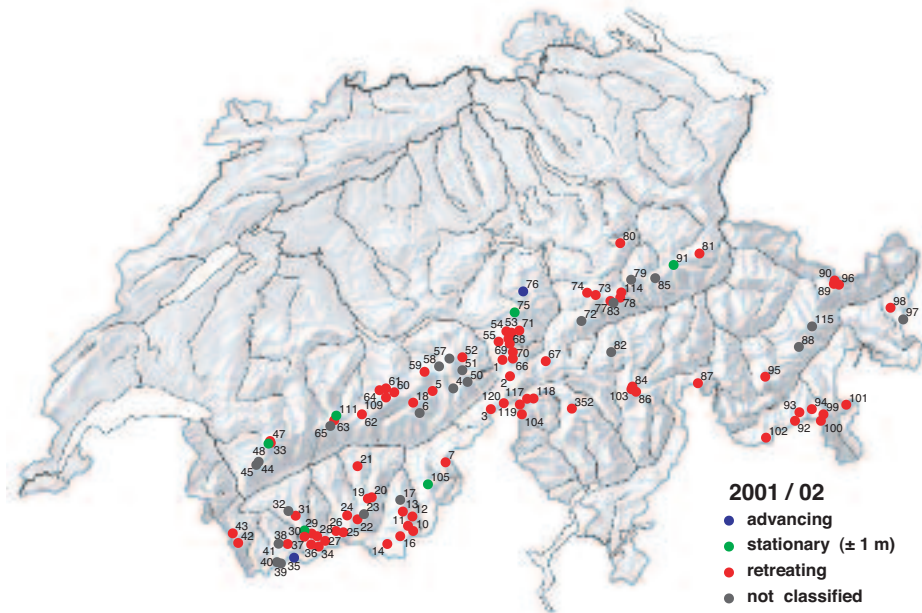


Figure 2.3a: Observed glaciers in 2002.

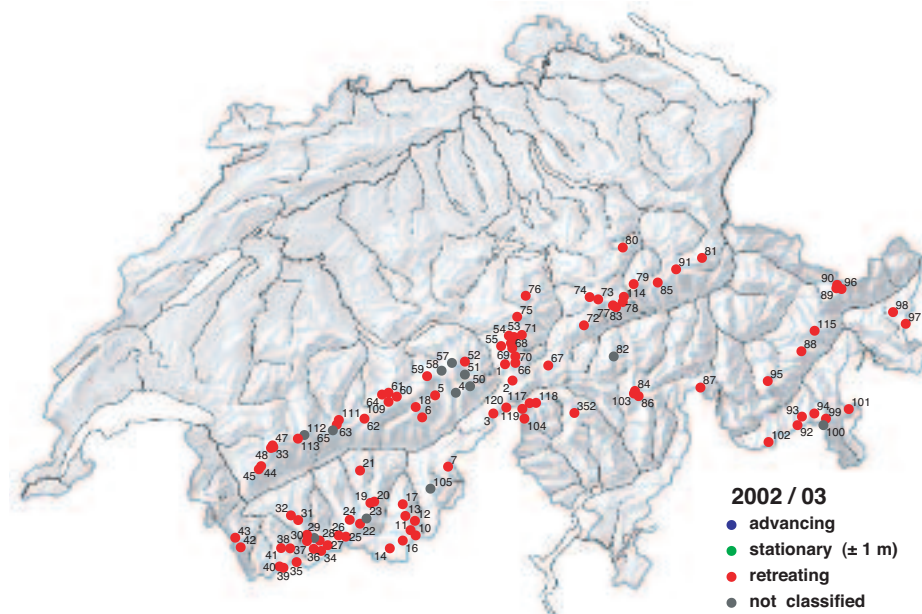


Figure 2.3b: Observed glaciers in 2003.

3 Mass Balance

3.1 Introduction, Cumulative Mean Specific Net Balances

Detailed mass balance data were collected using the glaciological method for the Griesgletscher, Silvrettagletscher and Ghiacciaio del Basòdino in Switzerland (Chapter 3.4 - 3.7). In addition, individual point measurements of mass changes were taken at Claridenfirn (Chapter 3.8), Jungfrau firn (Grosser Aletschgletscher), Glacier du Giétro and Glacier de Corbassière (cf. also Chapter 4), as well as in the Mattmark (Allalin and Schwarzberg) region (Figure 3.1).



Figure 3.1: Investigated glaciers for mass balance, including point measurements (dark blue dots, Chapter 3) and velocities (light blue dots, Chapter 4).

The mass balance measurements at stakes and in snow pits on Griesgletscher and Silvrettagletscher were used to calculate the mean specific net balance following the methods described in Funk et al. [1997], whereas for Ghiacciaio del Basòdino traditional hand-contouring has been applied [e.g. Ostrem and Brugman, 1991]. The cumulative mean specific net balances of the three glaciers with extensive observation series are presented in Figure 3.2. The long-term trends are very well re-

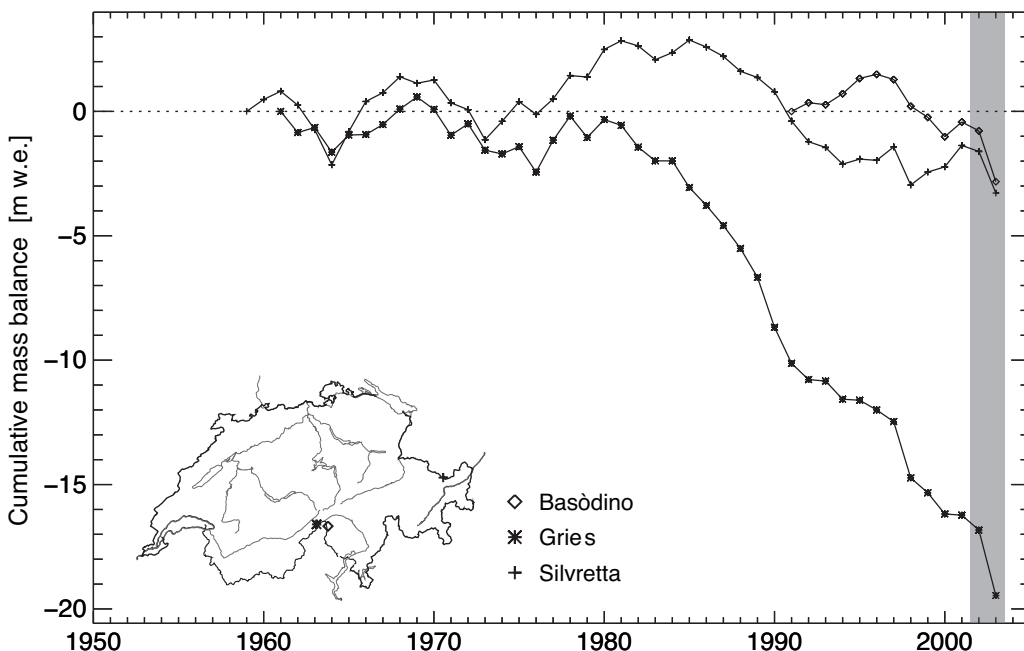


Figure 3.2: Cumulative mean specific net balance over the whole observation period for the glaciers Silvretta, Basòdino and Gries.

cognizable. The strong mass loss since the mid-1980s in particular is remarkable, as is the increase recorded in the 1960s and 70s. The point measurements of the mass changes are of particular significance with regard to the answers they provide to questions relating to climate.

The Ghiacciaio del Basòdino, Griesgletscher and Silvrettagletscher are currently part of the international observation network, together with approximately other 50 glaciers. The mass balance of all these glaciers is observed in worldwide cooperation within the Global Terrestrial and Climate Observing System (GTOS/GCOS), coordinated and reported by the World Glacier Monitoring Service [Dyurgerov and Meier, 2005; IAHS(CCS)-UNEP-UNESCO, 2005; IAHS(CCS)-UNEP-UNESCO-WMO, 2005].

3.2 Mass Balance in 2001/02

All three of the glaciers investigated in detail were subject to relatively mild mass losses during the 2001/02 measurement period. The values of the mean specific mass balance in water equivalent amounted, in the first period, to -356 mm at Ghiacciaio del Basòdino, -667 mm at Griesgletscher, and -160 mm at Silvrettagletscher.

The Griesgletscher in the Nufenen region had the largest mass losses. Following an intermediate phase of balanced values in 2000/01, the trend resumed from previous years toward losses, in some cases massive ones. The mass losses were similar, though somewhat less pronounced, at the Ghiacciaio del Basòdino, located further to the south in Ticino. The smallest losses were recorded at the Silvrettagletscher in the back part of Prättigau. This glacier, located on the north-alpine slope, had three consecutive periods with positive values, followed by two years with negative mass balance figures.

After a winter with average amounts of snow in the Alps as a whole, which did not, however, attain the normal level in the southern regions until the later part of the season, it is quite possible that the extraordinary hot spell in June 2002 in all parts of the country accelerated the melting-out process of the glaciers and was responsible for the results in the 2001/02 observation period.

3.3 Mass Balance in 2002/03

In the 2002/03 measurement period, the three glaciers investigated in detail lost a great deal of mass. The maximum loss values from the previous years of massive retreat, that is 1990/91 and 1997/98, were clearly exceeded. The values of the mean specific mass balance in water equivalent amounted to -2043 mm at Basòdino, -2673 mm at Gries, and -1493 mm at Silvretta.

The regional distribution pattern gave a picture which had become familiar over the years: The two glaciers, Basòdino and Gries, exposed to weather influences from the south, had much greater mass losses, especially Griesgletscher, the larger of the two. By contrast, the Silvrettagletscher, located on the north-alpine slope had a distinctly smaller mass loss.

In line with the previous observation periods, there were generally average amounts of snowfall during the winter in the Alps. The melt-out of the glacier, which began very early and extremely intensively at the end of April, favoured strong glacier melting. This fact, along with the extraordinarily long, hot, sunny and dry summer of 2003 (see chapter 6.1), was mainly responsible for the extreme mass losses of the Alpine glaciers. As early as July, the snow cover on the Griesgletscher had already totally disappeared in the upper accumulation area. The surface of the glacier tongue, which in recent years had increasingly acquired a dirty layer of fine dust and gravel particles, had a further negative effect on the mass balance values. The large calculated loss of glacier ice corresponds to approx. 3 % of the total volume of this glacier. The substantially smaller Ghiacciaio del Basòdino, located in the direct vicinity, experienced much slower melt-out. On the Silvrettagletscher, extensive older firn layers were exposed, originating from the positive balance years between 1998 and 2001. They are likely a reason for the much smaller mass losses.

3.4 Summary Tables

Table 3.1: Summary Table (area, mean specific net balance, ELA and AAR).

Glacier	area [km ²]	b ₀₂ [mm w.e.]	b ₀₃ [mm w.e.]	ELA ₀₂ [m a.s.l.]	ELA ₀₃ [m a.s.l.]	AAR ₀₂ [%]	AAR ₀₃ [%]
Gries	5.765 ^a	- 667	- 2673	2975	>3400	42	0
Silvretta	3.009 ^b	- 160	- 1493	2803	2989	46	8
Basòdino	2.28 ^c	- 356	- 2043	2880	>3100	48	0

a Measured in 1998.

b Measured in 1994.

c Measured in 2001.

Table 3.2a: Griesgletscher – Specific net balance 2001/02 and 2002/03 versus altitude and stake values.

Griesgletscher

Measuring period: 1.10.2001-13.9.2002; 13.9.2002-20.9.2003

cf. Figure 3.3a

Altitude [m a.s.l.]	Area 1991 [km ²]	Specific net balance		Stakes	Year	
		2001/02 [mm w.e.]	2002/03 [mm w.e.]		2001/02 [mm w.e.]	2002/03 [mm w.e.]
2400 - 2500	0.173	- 3680	- 5688	1	+ 320	- 1720
2500 - 2600	0.790	- 2979	- 4735	2		- 1890
2600 - 2700	0.491	- 2278	- 3898	3	+ 840	
2700 - 2800	0.444	- 1577	- 3176	4	0	- 1790
2800 - 2900	0.681	- 876	- 2570	5	- 380	- 2150
2900 - 3000	0.991	- 175	- 2080	6	- 450	- 2200
3000 - 3100	1.552	+ 526	- 1705	7	- 990	- 3020
3100 - 3200	0.471	+1227	- 1446	8	- 2370	- 3860
3200 - 3300	0.168	+1928	- 1303	9	- 2730	
3300 - 3400	0.006	+2629	- 1275	10	- 2300	- 3810
				11	- 2230	- 4030
				12	- 2520	- 4130
2400 - 3400	5.765	- 667	- 2673	13		- 4760
				14	- 3120	- 5100
				15		- 4770
				16	- 3250	- 5260
				17	- 2880	- 4190

Table 3.2b: *Silvrettagletscher – Specific net balance 2001/02 and 2002/03 versus altitude and stake values.*

Silvrettagletscher

Measuring period: 12.10.2001-13.9.2002; 13.9.2002-22.9.2003

cf. Figure 3.4a

Altitude [m a.s.l.]	Area 1994 [km ²]	Specific net balance		Stakes	Year	
		2001/02 [mm w.e.]	2002/03 [mm w.e.]		2001/02 [mm w.e.]	2002/03 [mm w.e.]
2400 - 2500	0.017	- 3359	- 3974	1	+1342	+ 449
2500 - 2600	0.374	- 2408	- 3237	2	+1177	- 774
2600 - 2700	0.454	- 1457	- 2499	3	+1430	
2700 - 2800	0.770	- 506	- 1761	4	+ 814	
2800 - 2900	0.621	+ 446	- 1023	5	-1008	-1932
2900 - 3000	0.596	+1397	- 286	6	-2061	-2790
3000 - 3150	0.178	+2348	+ 452	7	-2331	-3006
2400 - 3150	3.009	- 160	- 1493	8	-2124	-3240

Table 3.2c: *Ghiacciaio del Basòdino – Specific net balance 2001/02 and 2002/03 versus altitude and stake values.*

Ghiacciaio del Basòdino

Measuring period: 8.9.2001-28.9.2002; 28.9.2002-22.9.2003

cf. Figure 3.5a

Altitude [m a.s.l.]	Area 2001 [km ²]	Specific net balance		Stakes	Year	
		2001/02 [mm w.e.]	2002/03 [mm w.e.]		2001/02 [mm w.e.]	2002/03 [mm w.e.]
2600 - 2700	0.24	- 2000	- 3700	1	- 1960	- 3760
2700 - 2800	0.45	- 1400	- 3000	2	- 1280	- 3200
2800 - 2900	0.55	- 200	- 2100	3		- 3200
2900 - 3000	0.56	+ 300	- 1400	4	- 1120	- 2240
3000 - 3100	0.48	+ 500	- 1000	5	- 490	- 1750
2600 - 3100	2.28	- 356	- 2043	6		- 2240
				7	+ 720	
				8	+ 840	- 910
				9	- 880	- 2000
				10		
				11	- 1660	- 3360

3.5 Griesgletscher (Aegina)

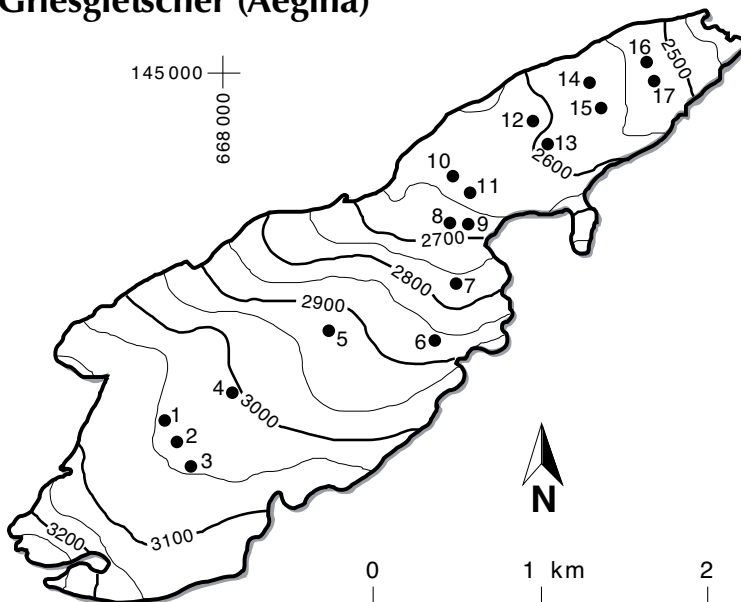


Figure 3.3a: Topography and observational network of the Griesgletscher.

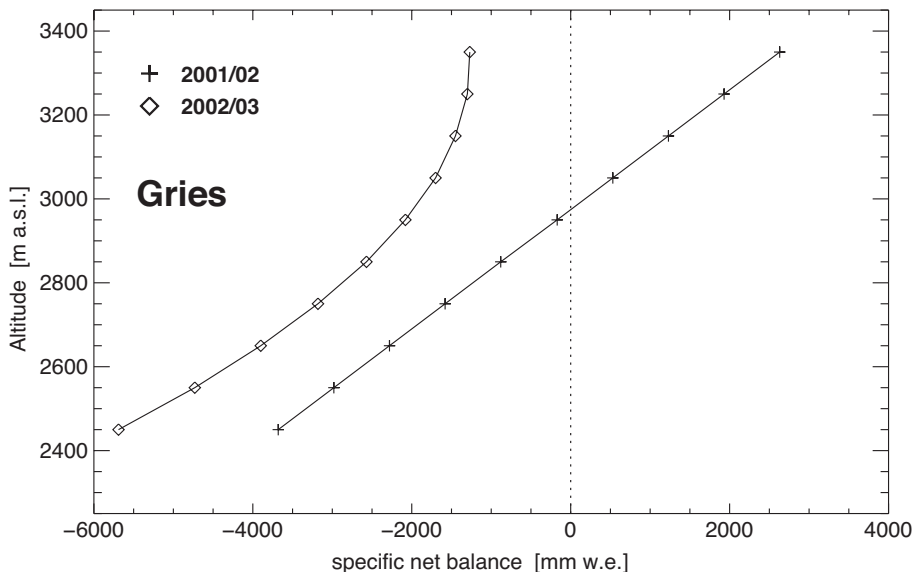


Figure 3.3b: Specific net balances 2001/02 and 2002/03 versus altitude.

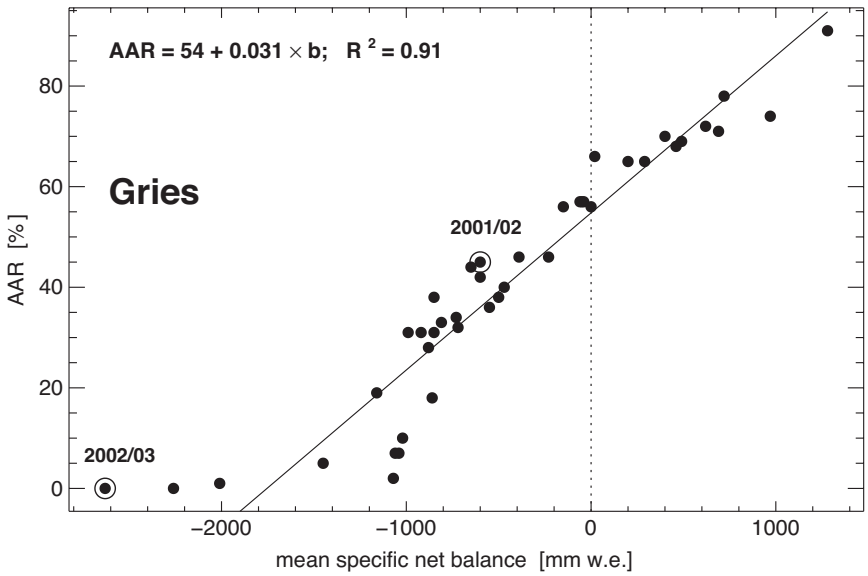


Figure 3.3c: Accumulation area ratio (AAR) versus mean specific net balance for the whole observation period.

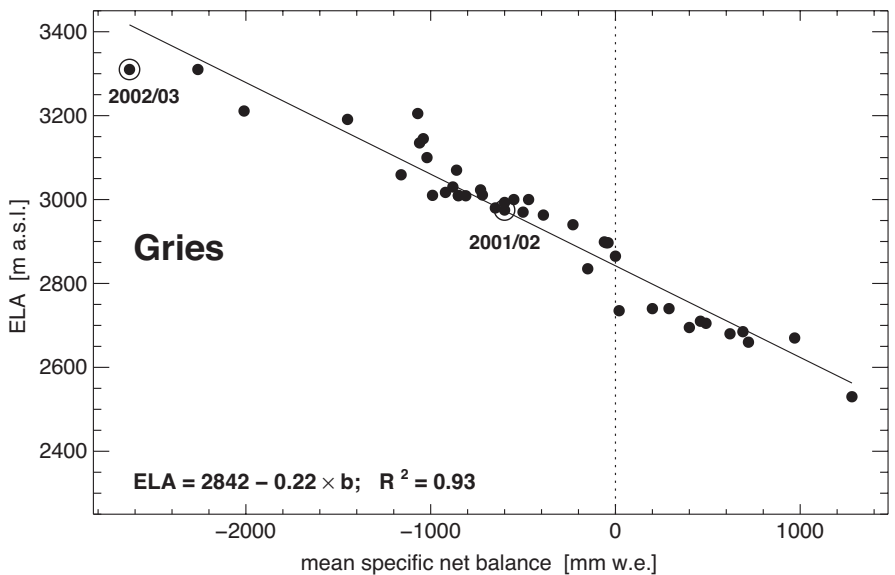


Figure 3.3d: Equilibrium line altitude (ELA) versus mean specific net balance for the whole observation period.

3.6 Silvrettagletscher

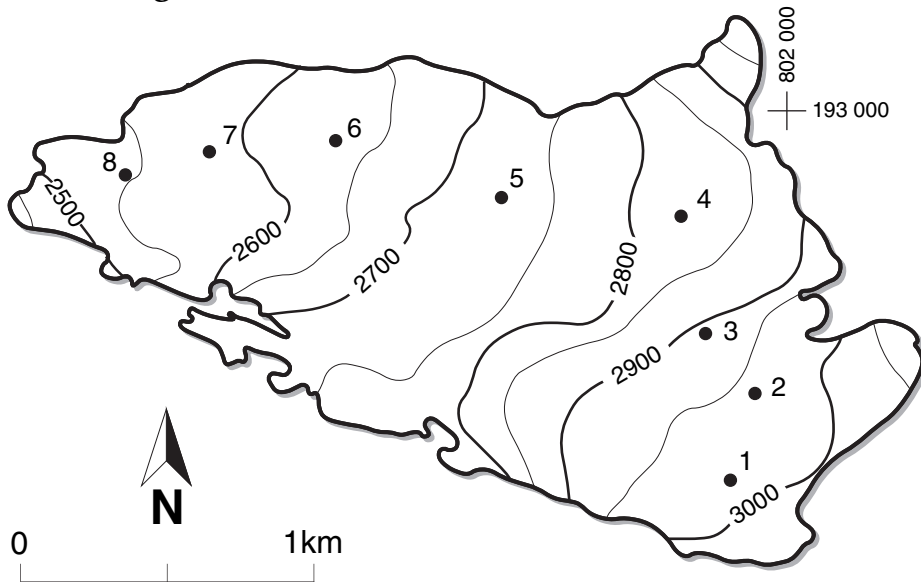


Figure 3.4a: Topography and observational network of the Silvrettagletscher.

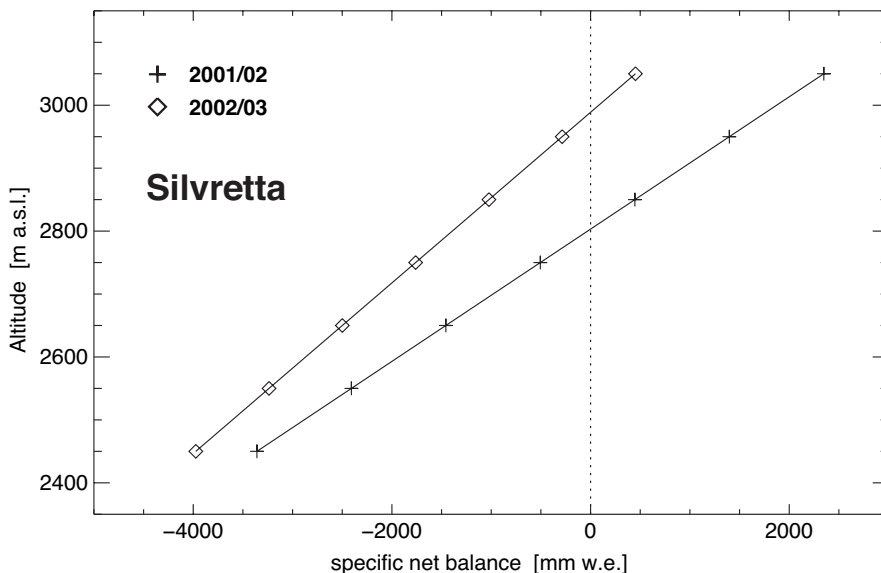


Figure 3.4b: Specific net balances 2001/02 and 2002/03 versus altitude.

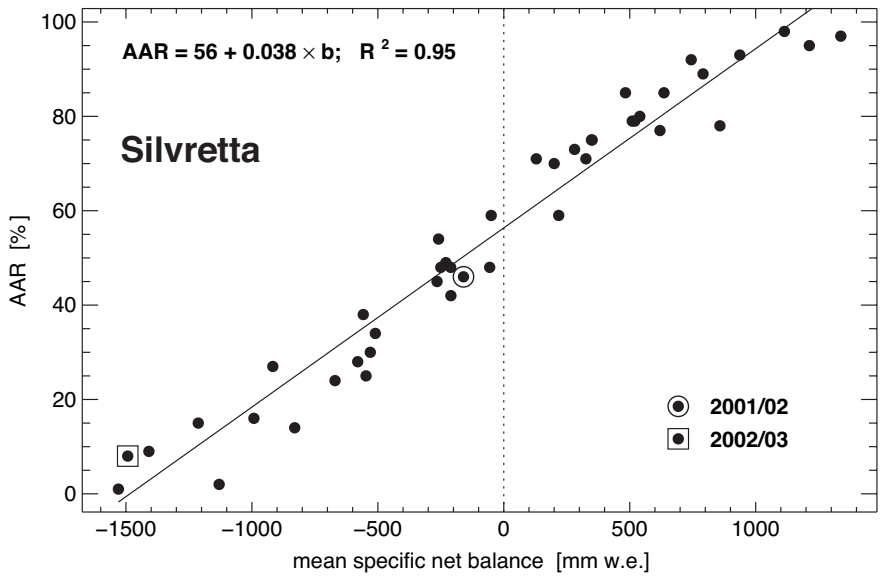


Figure 3.4c: Accumulation area ratio (AAR) versus mean specific net balance for the whole observation period.

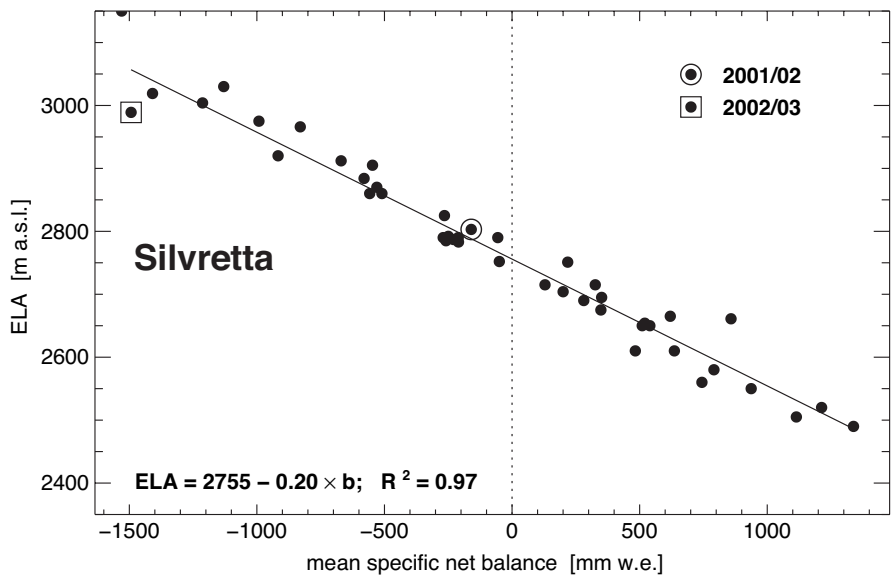


Figure 3.4d: Equilibrium line altitude (ELA) versus mean specific net balance for the whole observation period.

3.7 Ghiacciaio del Basòdino (Ticino)

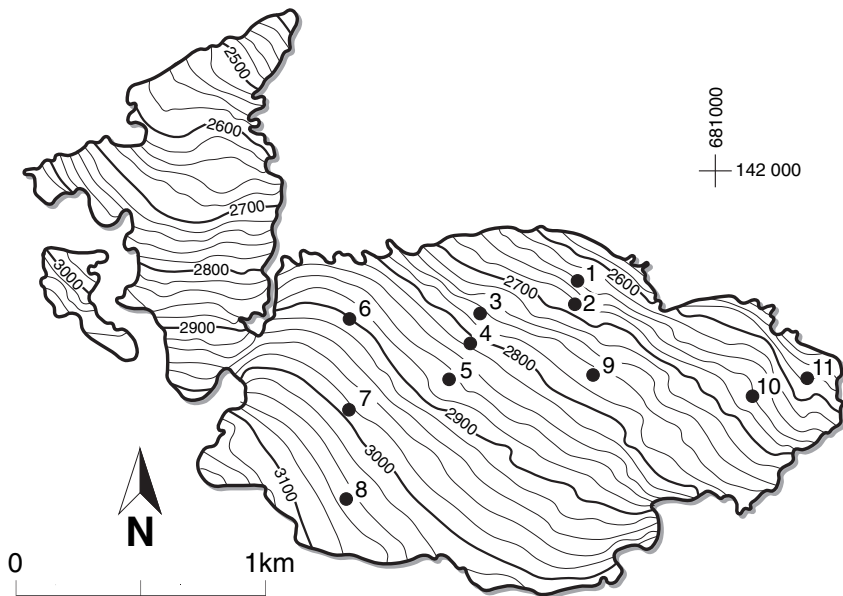


Figure 3.5a: Topography and observational network of the Ghiacciaio del Basòdino.

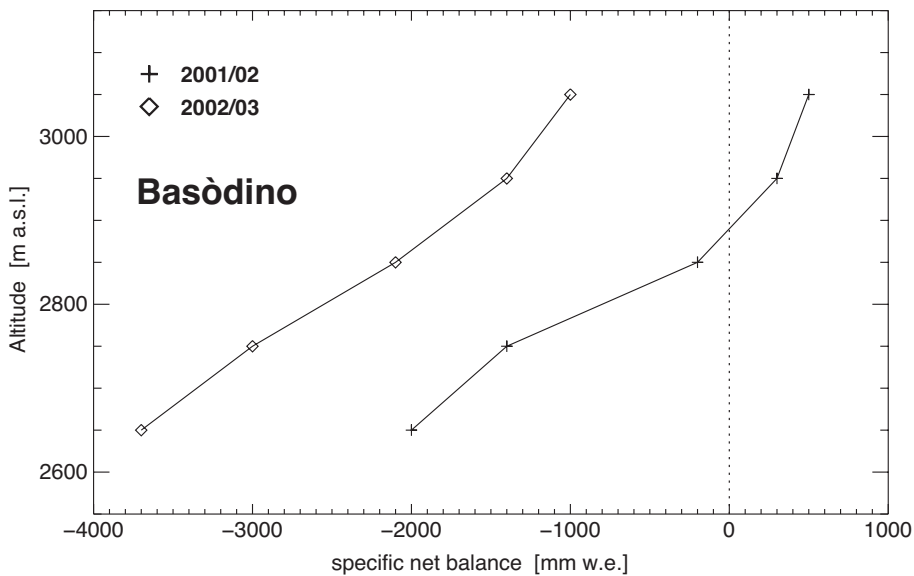


Figure 3.5b: Specific net balances 2001/02 and 2002/03 versus altitude.

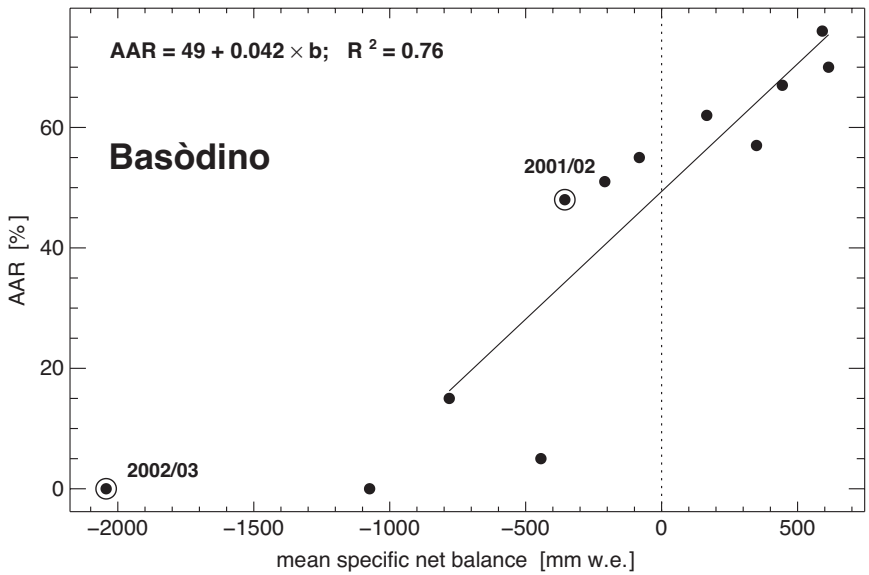


Figure 3.5c: Accumulation area ratio (AAR) versus mean specific net balance for the whole observation period.

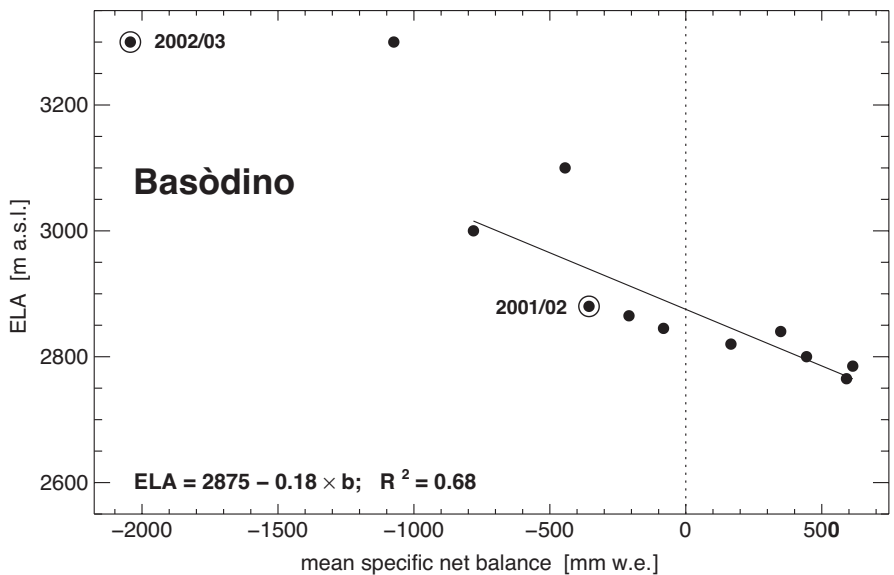


Figure 3.5d: Equilibrium line altitude (ELA) versus mean specific net balance for the whole observation period.



Photo 3:

Griesgletscher and Blinnenhorn (VS) in August 2003, with glacier melt-out in the advanced stage. The fine dust and debris that cover the ice of the glacier terminus can be seen clearly.

(Photo: F. Funk-Salamí)

3.8 Point Measurements on Claridenfirn

Introduction

Measurements of the snow and firn accumulation and melt, as well as of precipitation values in the accumulation area of the Claridenfirn, have been undertaken by various researchers since 1914. The traditional glaciological method was applied by digging a snowpit down to the layer of ochre applied the previous autumn and measuring the water equivalents. Specific net 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].

Investigations in 2001/02

The spring measurements were taken on May 20st and 21st. A distinct layer of Sahara dust was visible at both stakes deposited between April 6th and 9th 2002 together with about 20 cm of snow. The fall measurements were carried out on September 14th and there was no new snow (Table 3.5). At the lower site, an old stake located about 90 m from its original position began to melt out. It was estimated to be approximately 30 years old.

Table 3.5: *Specific net balance, change in thickness and movement of the Claridenfirn in 2001/02.*

Measuring period		Measuring site		Mass change			Change in	Horiz.
from	to	stake	altitude [m a.s.l.]	[cm]	[cm w.e.]	[g/cm ³]	thickness [m]	movement [m]
Winter								
17.10.2001	-21.5.2002	lower	2700	+390				
17.10.2001	-20.5.2002	upper	2900	+380	+171	0.449		
Year								
17.10.2001	-14.9.2002	lower	2700	- 16	- 8	0.522	-0.6	+ 3
17.10.2001	-14.9.2002	upper	2900	+104	+ 54	0.523	+0.1	+12

Investigations in 2002/03

The spring measurements were carried out on May 11th, and the fall ones on September 17th (Table 3.6). During a short visit after the latter measurements were taken, it was found that the fresh snow from early September, 15 cm at the lower stake and 30 cm at the upper stake, melted during a warm period in the second half of September 2003. This indicates that an additional mass loss of 15 cm w.e. resulted at the lower stake. The results from this period with the unusually hot and dry summer are less negative at both stakes than in 1947. At the upper stake, the period under review is only the fifth negative period on record, surpassed by 1921,1947, 1950, and 1998.

Table 3.6: Specific net balance, change in thickness and movement of the Claridenfirn in 2002/03.

Measuring period		Measuring site		Mass change			Change in	Horiz.
from	to	stake	altitude	[cm]	[cm w.e.]	[g/cm ³]	thickness	movement
			[m a.s.l.]				[m]	[m]
Winter								
14.9.2002 -	11.5.2003	lower	2700	+441				
14.9.2002 -	11.5.2003	upper	2900	+499	+237	0.474		
Year								
14.9.2002 -	17.9.2003	lower	2700	-200	-130	0.650	- 2.7	+4
14.9.2002 -	17.9.2003	upper	2900	- 20	- 13	0.650	- 1.3	

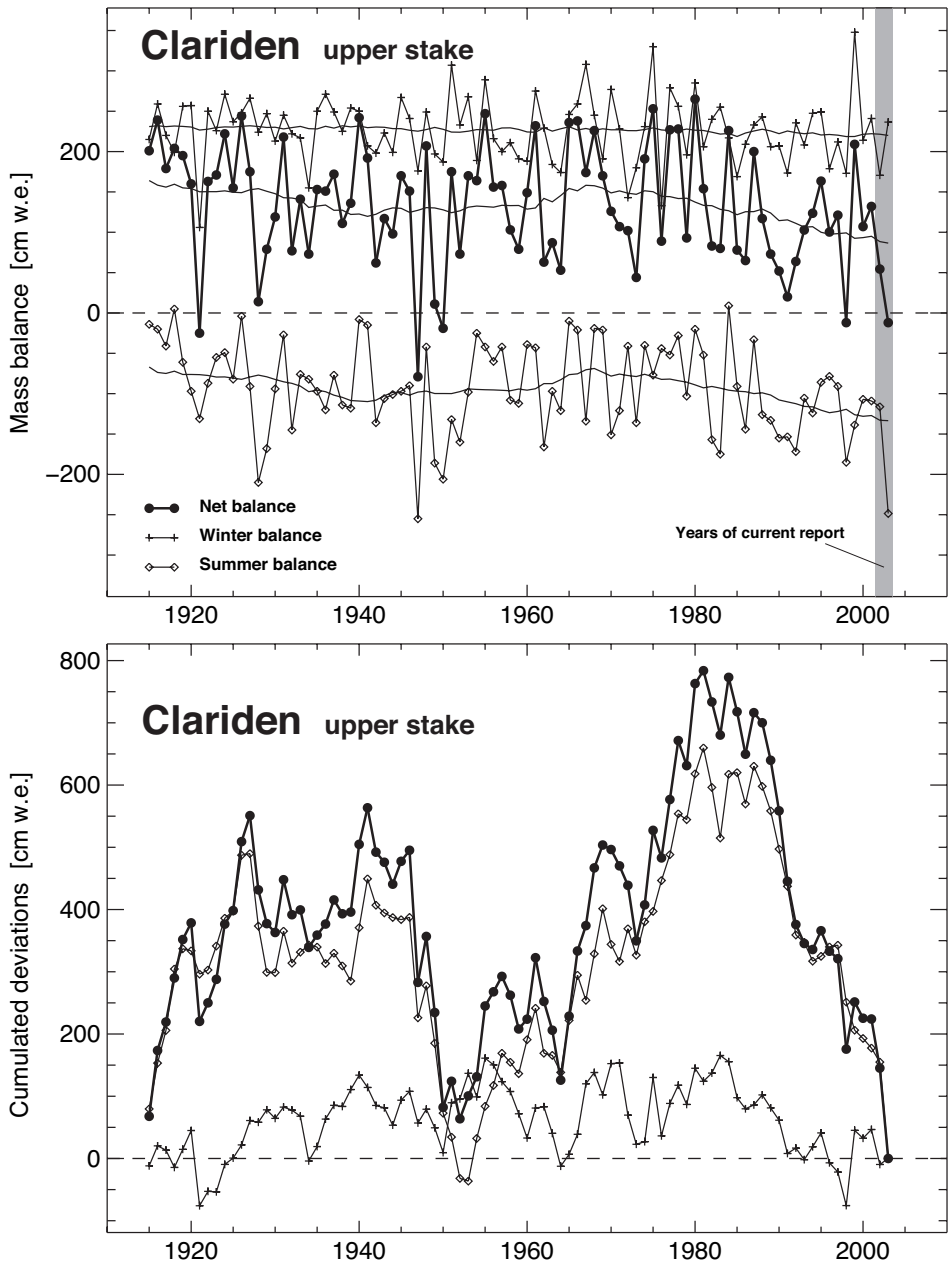


Figure 3.6a: Mass balance at the upper stake at Claridenfirn, time series for winter and summer, net balance with a 30-year running mean (top), and cumulated deviations from the overall mean (bottom).

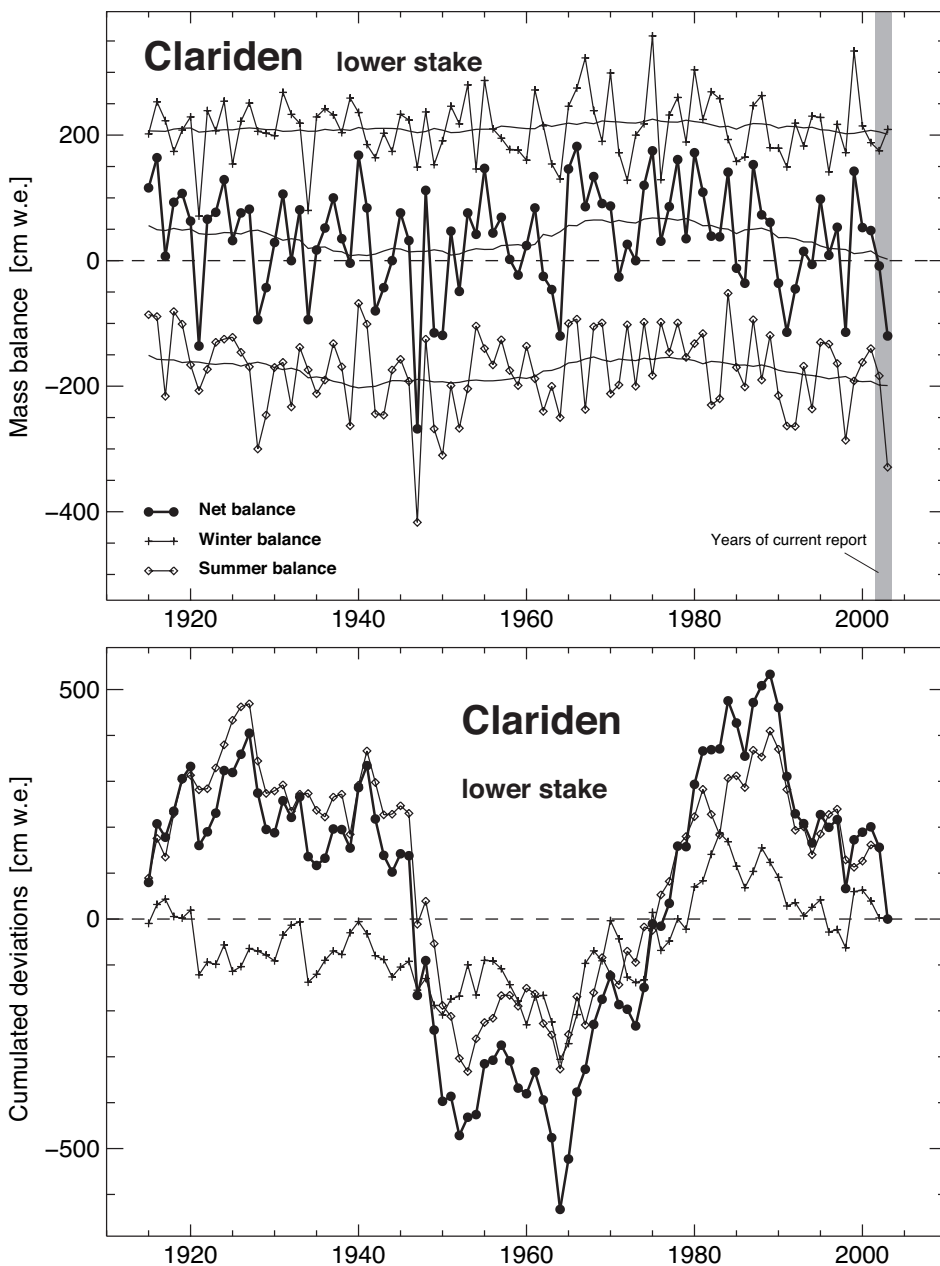


Figure 3.6b: Mass balance at the lower stake at Claridenfirn, time series for winter and summer, net balance with a 30-year running mean (top), and cumulated deviations from the overall mean (bottom).

4 Velocity of Some Specific Glaciers

4.1 Introduction

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 south-western 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 (Figure 3.1).

From 1924 until 1998 the ablation areas of the Aare glaciers (Figure 4.3) were geodetically measured each year by the Flotron AG geodetic surveying firm on behalf of the Oberhasli hydro-electric power company. Starting with the year 2000/01, investigations are carried out only once in a 5-year period. Detailed information with annual movement values for 2000/01 and ice volume change for 1998-2001 in the ablation area is contained in the reports on the measurement of the Aare glaciers [Flotron AG, 2003]. The results are provided in the present report as an addendum (Tables 4.3a and 4.3b) to ensure a continuous reporting.

4.2 Glacier du Giétro

One of the longest measurement series in existence, for Glacier du Giétro (Figure 4.1a) 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; VAW, 1998; Bauder et al., 2002; Raymond et al. 2003].

Figure 4.1b shows the velocity measurements at 7 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.

Velocity in 2001/02 and in 2002/03

The movement measurements taken at the Glacier du Giétro reflect the general trend toward melting back of the Alpine glaciers. Taken repeatedly at the same location, these measurements indicate lower horizontal velocity values everywhere. As the flow velocity is mainly dependent on surface slope and ice thickness, there is a relation between this and changes in glacier geometry.

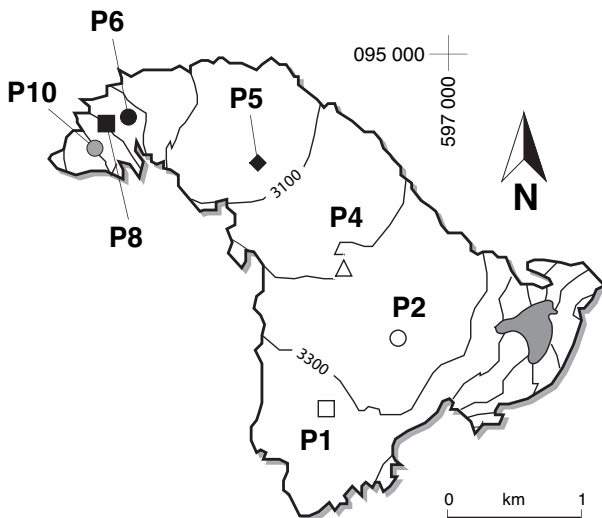


Figure 4.1a: Topography and observational network of the Glacier du Giétro.

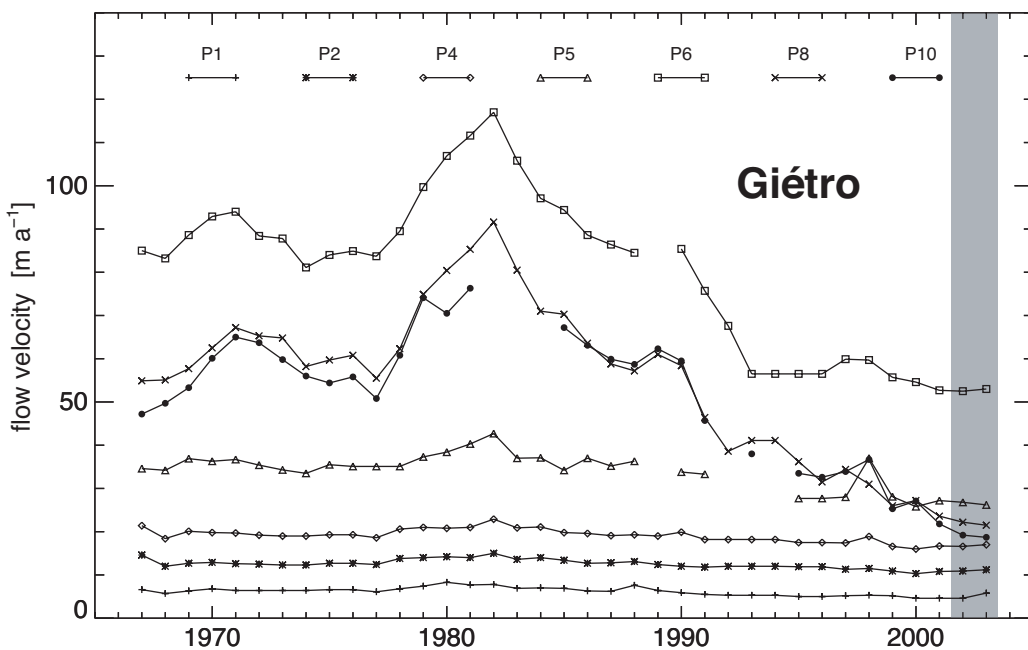


Figure 4.1b: Annual ice flow velocities of the Glacier du Giétro for the period 1967 - 2003 at all 7 stakes.

Table 4.1: Annual ice flow velocities of the Glacier du Giétro at all 7 stakes. Measuring period: 29.8.2001 - 6.9.2002; 6.9.2002 - 4.9.2003

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]
2001/02	4.6	10.9	16.5	26.8	52.5	22.2	19.2
2002/03	5.8	11.2	17.0	26.2	53.0	21.5	18.7

During the past two observation periods the values remained at a fairly constant level (Table 4.1 and Figure 4.1b). Slightly increased values in the period 2002/03 may reflect the unusual high melt associated with larger amounts of meltwater in the glacier during summer 2003 (Fig 4.1b). Small seasonal variations only were observed. Additional high resolution daily measurements in the lower ablation area (stakes 6, 8 and 10) during the summer season did not indicate any short-term accelerations of the glacier flow.

4.3 Glacier de Corbassière

Glacier de Corbassière (Figure 4.2a) 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 (Table 4.2). Figure 4.2b shows the annual velocities for the two profiles since 1967.

Velocity in 2001/02 and in 2002/03

The general trend toward steadily decreasing horizontal velocity values accompanied by a lowering of the surface elevation reached the lowest values on record in the first observation period. During the second period, only the two slower stakes in the lower profile (A: Tsessette) continued this decrease, and distinctly higher values were recorded, in the upper profile (B: Panossière) in particular (Figure 4.2b).

Table 4.2: Annual ice flow velocities of the Glacier de Corbassière at all 6 stakes. Measuring period: 12.9.2001 - 7.9.2002; 7.9.2002 - 4./5.9.2003

year	velocities at stake					
	A1 [m/a]	A2 [m/a]	A3 [m/a]	B1 [m/a]	B2 [m/a]	B3 [m/a]
2001/02	20.9	18.3	7.3	23.1	29.8	29.8
2002/03	22.1	18.1	6.6	24.5	31.7	35.2

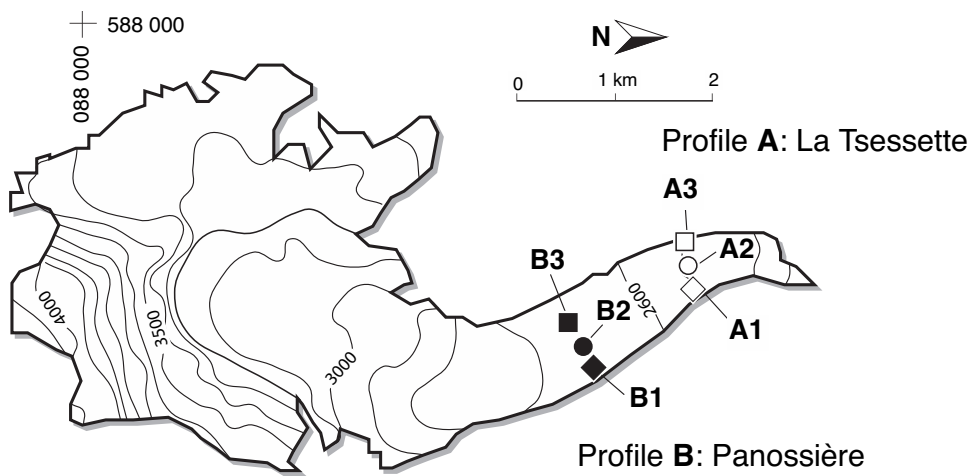


Figure 4.2a: Topography and observational network of the Glacier de Corbassière.

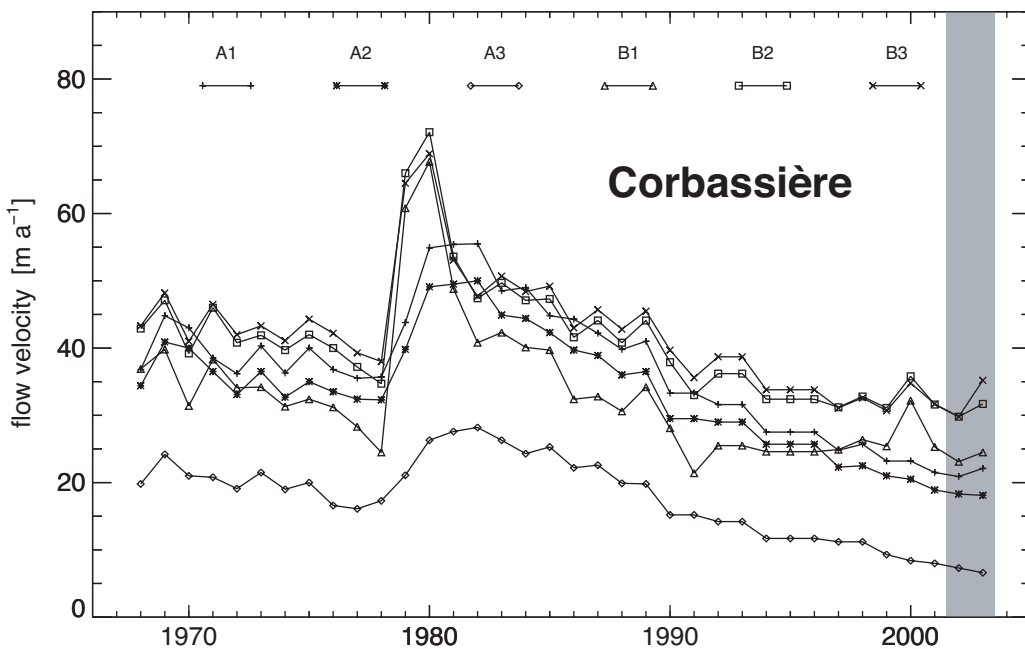


Figure 4.2b: Annual ice flow velocities of the Glacier de Corbassière for the period 1968 - 2003 at two profiles with 3 stakes each.

4.4 Aare Glaciers

Aare glaciers in general - observation strategy

Starting in 1996, aerial photographs of the Aare glaciers were processed using digital photogrammetric analysis tools. Generation of an orthophoto mosaic and a digital elevation model (DEM) of the glacier surface are standard products, opening up new possibilities for the evaluation of glacier movements. Digital elevation 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 spatial resolution of the DEM drastically. The grid size of the measured points is 7 m enhanced by additional break-lines (terrain edges). Using the method of simultaneous mono-plotting [Kääb, 1996], horizontal displacement is determined with an estimated accuracy of 0.3 m along the 17 profiles (Figure 4.3).

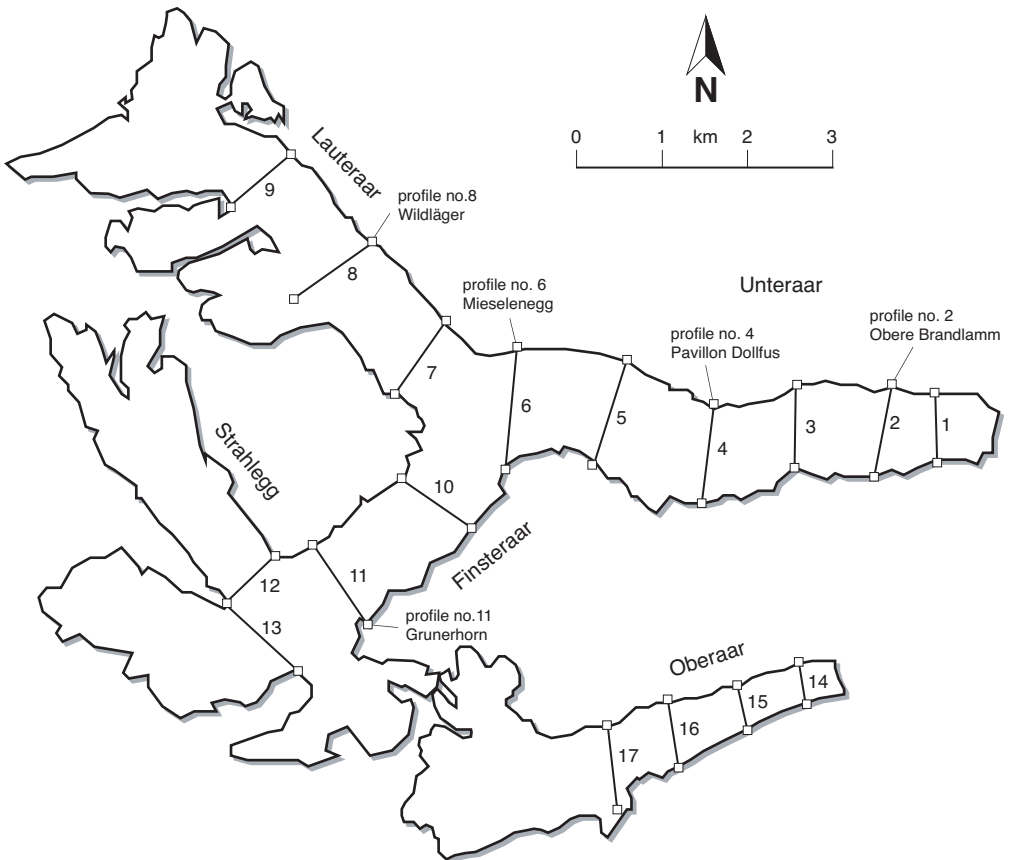


Figure 4.3: Glacier boundaries and geodetic profiles of the Aare glaciers.

Aare glaciers 2000/01 – Changes in movement

The observation period for the determination of the movement is 376 days for Unteraar (with its two tributaries Lauteraar and Finsteraar) and 362 days for Oberaar, respectively. In spite of a continued decrease in thickness, the flow velocities have not changed significantly (Table 4.3a, Figure 4.4).

Aare glaciers 1998-2002 – Changes in thickness and ice volume

The observation period of 1078 days spans the interval since the previous report in fall 1998. The reduction in glacier size in the terminus areas goes along with a mean thickness decrease in all the analysed profiles (Table 4.3a) and an ice volume loss (Table 4.3b) in all sections except in the upper region of Lauteraar (between profile 8 and 9). These changes 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 3.1 m and 3.2 m respectively, relating to the entire surface of 13.71 km², and 1.53 km², which corresponds to a loss in volume of 42.4 million m³ and 4.9 million m³, respectively (Table 4.3b). This loss observed over a three-year interval is less than in the record annual change of 1997/98.

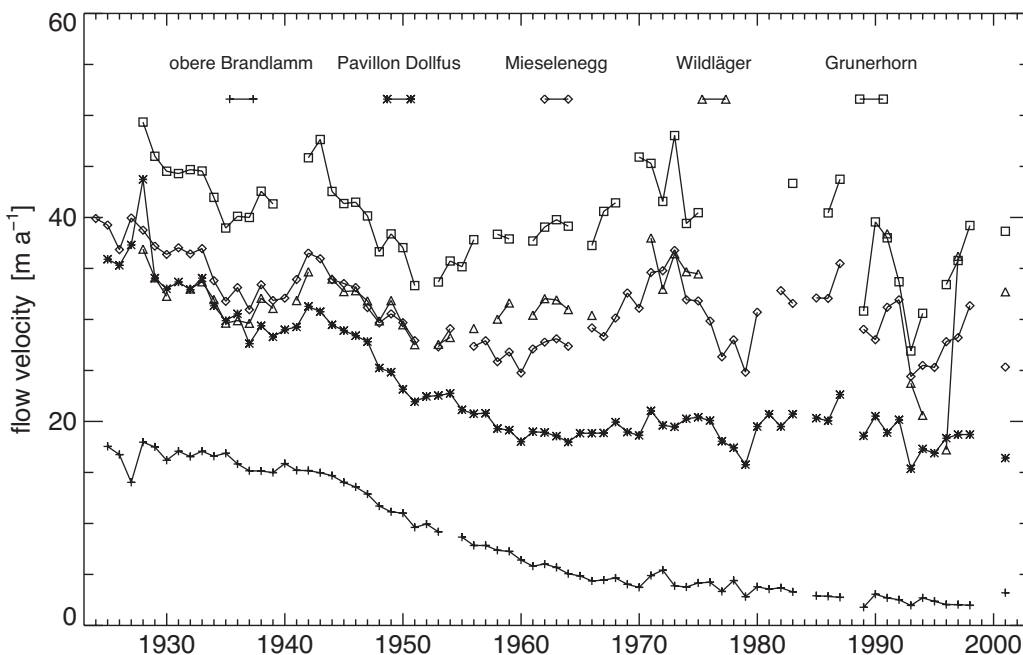


Figure 4.4: Annual ice flow velocities of the Aare glaciers at five selected transverse profiles since 1924 (Figure 4.3).

Summary Tables

Table 4.3a: Change of thickness and movement of the Aare glaciers. Measuring period of the glacier surface: 9.9.98 - 22.8.01 (1078 days). Measuring period of the velocity: 11.8.2000 - 22.8.01 (Unteraar); 25.8.2000 - 22.8.01 (Oberaar) (376 respectively 362 days).

Glacier	Profiles	glacier surface		glacier movement		
		altitude 2001 [m a.s.l.]	altitude changes [m]	displacement max [m]	velocity max [m/a]	velocity change [m/a]
Unteraar	Z glacier tongue 2001					
	1	1932.2	-3.7	6.4	6.6	+ 5.0
	2 Obere Brandlamm	1993.1	-11.2	8.2	8.4	+ 5.5
	3	2098.3	-7.9	17.4	17.9	+ 0.4
	4 Pavillon Dollfuss	2188.9	-9.1	21.8	22.5	- 1.8
	5	2261.2	-9.8	31.6	32.5	+ 2.4
Lauteraar	6 Mieselenegg	2337.4	-8.9	32.5	33.5	- 2.8
	7	2407.0	-7.5	33.9	34.9	+ 1.7
	8 Wildläger	2495.0	-5.7	47.3	48.7	+31.7
Finsteraar	9	2627.4	-3.2			
	10	2426.8	-7.8	34.8	35.9	- 1.0
	11 Grunerhorn	2538.1	-6.4	46.9	48.2	+ 2.3
	12 Strahlegg	2607.8	-6.1	22.7	23.4	- 4.6
	13 Finsteraar	2639.2	-2.5			
Oberaar	z glacier tongue 2001					
	14 Middle Profile	2334.0	-5.2	8.5	8.4	+ 3.8
	15 Upper Profile	2461.3	-7.9	7.4	7.4	- 0.1
	16 Uppermost Profile	2540.2	-8.1	14.1	14.0	+ 0.3
	17	2658.5	-4.1	28.0	27.7	- 1.0

Table 4.3b: Change of area and volume of the Aare glaciers in the period 1998-2001.

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	- 53211	- 1751.05	10 - 11		- 4171.49
2 - 3		- 4657.67	11 - 12/13		- 1293.72
3 - 4		- 5146.38	Z - 9/12/13		-42369.36
4 - 5		- 7288.52			
5 - 6		- 7488.04	Oberaar		
6 - 7/10		- 9063.40	Z - 15	- 6633	- 1893.91
Lauteraar			15 - 16		- 2243.12
7 - 8		- 3124.82	16 - 17		- 773.76
8 - 9		- 1615.71	z - 17		- 4910.79



*Photos 4:
Vadret Tiatscha (Grisons): In 2003 the glacier retreated beyond the escarpment.
(Photos: Archives VAW / M. Stadler)*

a) 1995

b) 2003



5 Remote Sensing

5.1 Aerial Photographs

Aerial photographs were taken at periodic intervals in order to provide a baseline documentation for various applications (mapping, glacier change, natural hazards, etc). The periodical surveys conducted by the Swiss Federal Office of Topography (swisstopo) have been supplemented by high resolution aerial photographs designed especially for glaciological applications.

In addition to the aerial photographs listed in the following tables (5.1 and 5.2), other aerial photos for updating the National Maps are available from swisstopo. In the year 2002, pictures were taken for the sheets 1:50 000 nos. 227, 228, 236 and 237 and in 2003 for nos. 246, 247, 248, 249, 256, 257, 258, 259, 268, 269, 278 and 279. The scale is approximately 1:30 000.

Table 5.1: Aerial photographs taken in 2002.

Glaciers	Ct.	Date 2002	Scale	Line No.	Type Film
Allalin P, Hohlaub P, Fee P	VS	16.09.	7'500	2002067003	b-w
Basodino ^c	TI	16.09.	11'300	2002066043	b-w
Basodino P	TI	16.08.	5'000	2002039006	inf
Bider P, Balfrin P	VS	16.09.	10'700	2002066025	b-w
Birch ^c , Nest ^c	VS	1.10.	8'600	2002066504	b-w
Chessjen P	VS	17.08.	5'000	2002039028	inf
Corbassiere P	VS	16.09.	12'000	2002068041	b-w
Eiger P, Guggi P	BE	1.10.	12'000	2002070020	b-w
Fee P	VS	17.08.	5'000	2002039024	inf
Fee P, Hohlaub P	VS	16.09.	5'900	2002071001	b-w
Findelen P, Schwarzberg P	VS	16.09.	11'300	2002066040	b-w
Gauli P	BE	13.09.	8'800	2002066071	b-w
Gietro P	VS	16.09.	9'300	2002068001	col
Gries ^c , Corno P	VS	16.09.	12'300	2002066013	b-w
Grosser Aletsch (Mönch-Süd) P	VS	1.10.	9'200	2002070023	col
Grosser Aletsch (Mönch-Süd) P, Fiescher P, Eiger P, Guggi P	VS	1.10.	9'200	2002070123	b-w
Grosser Aletsch P	VS	16.09.	15'700	2002066016	b-w
Gruben P	VS	16.09.	6'900	2002066026	b-w
Gügli	GR	17.09.	5'300	2002072072	b-w

THE SWISS GLACIERS 2001/02 AND 2002/03

Glaciers	Ct.	Date 2002	Scale	Line No.	Film Type	
Gutz ^c	BE	1.10.	10'000	2002066505	b-w	
Innre Baltschieder	VS	17.08.	5'000	2002039003	inf	
Lämmeren ^P	VS	17.08.	5'000	2002039001	inf	
Lang ^P	VS	17.08.	5'000	2002039033	inf	
Morteratsch ^P	GR	17.09.	8'000	2002066044	b-w	
Oberaar ^P	BE	13.09.	9'800	2002065104	b-w	
Rhone ^P	VS	16.08.	5'000	2002039031	inf	
Rhone ^P	VS	16.08.	5'000	2002039031	inf	
Rhone ^P	VS	16.08.	5'000	2002039032	inf	
Rhone ^P	VS	13.09.	10'000	2002066012	b-w	
Roseg ^P , Tschierva ^P	GR	17.09.	18'000	2002066154	b-w	
Schöllli, Abberg	VS	17.08.	5'000	2002039027	inf	
Schwarzberg ^P	VS	16.09.	8'000	2002067005	b-w	
Seewjinen ^c , Schwarzberg ^P , Tälliboden ^c	VS	1.10.	8'400	2002067006	b-w	
Silvretta ^c , Verstancla ^c , Tiatscha ^P	GR	17.09.	14'700	2002066001	b-w	
Trift (Gadmen) ^P	BE	13.09.	8'000	2002066004	b-w	
Trift (Zermatt) ^P	VS	17.08.	5'000	2002039029	inf	
Trift (Zermatt) ^P	VS	17.08.	5'000	2002039030	inf	
Unteraar (Finsteraar) ^P	BE	13.09.	12'700	2002065101	b-w	
Unteraar (Lauteraar) ^P	BE	13.09.	13'300	2002065102	b-w	
Unteraar ^P	BE	13.09.	10'300	2002065103	b-w	
Unteraar ^P	BE	3.10.	10'300	2002065203	b-w	
Unteraar (Strahlegg) ^c , Finsteraar ^P , Galmi ^P , Oberaar ^P , Unt. Grindelwald ^P	BE	13.09.	11'700	2002066164	b-w	
Üssre Baltschieder	VS	17.08.	5'000	2002039002	inf	
Weingarten ^P	VS	16.09.	12'000	2002066643	b-w	
Zinal ^P	VS	17.08.	5'000	2002039005	inf	
c	Glacier shown completely		Type of film:		b-w	black-and-white
p	Glacier shown partially			col	colour	
				inf	infrared	

Table 5.2: Aerial photographs taken in 2003.

Glaciers	Ct.	Date 2003	Scale	Line No.	Film Type
A Nueve	VS	11.07.	5'000	2003039021	inf
Allalin P, Hohlaub P, Fee P	VS	13.08.	7'500	2003067003	b-w
Alpetli, Tschingel, Blüemlisalp, Gamchi, Lang	BE	12.08.	30'000	2003010148	col
Bider P, Balfrin P	VS	13.08.	10'700	2003066025	b-w
Birch ^c , Nest ^c	VS	4.08.	8'600	2003066604	b-w
Blüemlisalp, Gamchi	BE	12.08.	30'000	2003010152	col
Bondasca	GR	12.08.	5'000	2003039062	inf
Brenay	VS	11.07.	5'000	2003039013	inf
Canal	GR	12.08.	5'000	2003039037	inf
Cengal	GR	12.08.	5'000	2003039063	inf
Cheilon	VS	11.07.	5'000	2003039010	inf
Clariden ^c , Hüfi P, Lang P	GL	8.08.	12'600	2003066107	b-w
Corbassiere	VS	11.07.	5'000	2003039011	inf
Corbassiere	VS	11.07.	5'000	2003039012	inf
Corbassiere ^c , M. Durand P, Boveyre P, Valsorey P	VS	2.08.	22'000	2003068042	b-w
Corbassiere P	VS	2.08.	12'000	2003068041	b-w
Crete Seche	VS	11.07.	5'000	2003039017	inf
Eiger P, Guggi P	BE	22.08.	12'000	2003070020	b-w
Eiger, Unt. Grindelwald, Ob. Grindelwald, Unteraar (Lauteraar)	BE	12.08.	30'000	2003010160	col
Fanell	GR	12.08.	5'000	2003039040	inf
Fedoz	GR	12.08.	5'000	2003039065	inf
Fee P, Hohlaub P	VS	13.08.	5'900	2003071001	b-w
Fee P, Hohlaub P, Allalin P, Balfrin P, Bieder ^c , Ried P, Hohbalm P, Chessjen P	VS	23.08.	13'100	2003066024	b-w
Fenga	GR	19.07.	5'000	2003039078	inf
Findelen P	VS	8.08.	11'300	2003066040	b-w
Forno	GR	12.08.	5'000	2003039064	inf
Gauli P	BE	2.08.	8'800	2003066071	b-w
Gavirolas, Fluaz	GR	19.07.	5'000	2003039047	inf
Gietro P	VS	2.08.	9'300	2003068001	col
Gietro P, Cheillon P	VS	2.08.	7'300	2003068002	b-w
Gietro P, Cheillon P, Breney P	VS	2.08.	14'000	2003068003	b-w
Gorner P	VS	20.06.	13'000	2003066079	b-w

THE SWISS GLACIERS 2001/02 AND 2002/03

Glaciers	Ct.	Date 2003	Scale	Line No.	Film Type
Gorner P	VS	10.07.	13'000	2003066579	b-w
Gorner P, Findelen P, Allalin P, Belvedere P, Chiacciaio P	VS	2.08.	21'000	2003066511	b-w
Gorner P, Findelen P, Chiacciaio P	VS	2.08.	24'000	2003066510	b-w
Grialetsch	GR	19.07.	5'000	2003039072	inf
Grialetsch	GR	19.07.	5'000	2003039073	inf
Grialetsch	GR	19.07.	5'000	2003039074	inf
Gries ^c , Corno P	VS	23.08.	12'300	2003066013	b-w
Grosser Aletsch	VS	16.09.	5'000	2003028001	b-w
Grosser Aletsch	VS	16.09.	5'000	2003028002	b-w
Grosser Aletsch	VS	27.10.	5'000	2003028011	b-w
Grosser Aletsch	VS	27.10.	5'000	2003028012	b-w
Grosser Aletsch	VS	16.09.	5'000	2003028101	col
Grosser Aletsch	VS	16.09.	5'000	2003028102	col
Grosser Aletsch	VS	27.10.	5'000	2003028111	col
Grosser Aletsch	VS	27.10.	5'000	2003028112	col
Grosser Aletsch (Jungfraufirn, Grosser Aletschfirn) P	VS	4.08.	16'700	2003066014	b-w
Grosser Aletsch (Mönch-Süd) P	VS	14.09.	9'200	2003070023	col
Grosser Aletsch (Mönch-Süd) P, Fiescher P, Eiger P, Guggi P	VS	4.09.	9'200	2003070123	b-w
Grosser Aletsch P	VS	8.08.	16'700	2003066015	b-w
Grosser Aletsch P	VS	8.08.	15'700	2003066016	b-w
Grosser Aletsch P, Eiger ^c , Unt. Grindelwald P, Ob. Grindelwald P, Oberaletsch P, Lang ^c	VS	2.08.	17'000	2003066501	b-w
Gruben P	VS	8.08.	6'900	2003066026	b-w
Gruben P, Rossboden ^c	VS	8.08.	13'300	2003066035	b-w
Güfer	GR	12.08.	5'000	2003039036	inf
Gutz ^c , Ob. Grindelwald P	BE	22.08.	10'000	2003066505	b-w
Hohlicht	VS	11.07.	5'000	2003039025	inf
Hohlicht	VS	11.07.	5'000	2003039026	inf
Hohlicht P, Bis P, Brunegg P, Schali P	VS	8.08.	11'100	2003066031	b-w
Hohlicht P, Bis P, Brunegg P, Turtmann P	VS	8.08.	13'300	2003066030	b-w
Kin P, Festi P, Hohberg P	VS	22.08.	14'000	2003066029	b-w
Lang	VS	11.07.	5'000	2003039080	inf
Lang	VS	11.07.	5'000	2003039081	inf
Lavaz	GR	12.08.	5'000	2003039051	inf

Glaciers	Ct.	Date 2003	Scale	Line No.	Film Type
M. Fort, Grand Desert	VS	13.07.	5'000	2003039008	inf
M. Fort, Grand Desert	VS	13.07.	5'000	2003039009	inf
Medel	GR	12.08.	5'000	2003039048	inf
Medel	GR	12.08.	5'000	2003039049	inf
Medel	GR	12.08.	5'000	2003039050	inf
Morteratsch	GR	12.08.	5'000	2003039061	inf
Morteratsch ^c	GB	13.08.	18'700	2003066045	b-w
Morteratsch ^P	GB	13.08.	8'000	2003066044	b-w
Ob. Grindelwald ^P	BE	2.08.	15'300	2003066006	b-w
Oberaar ^P	BE	14.07.	12'500	2003065104	b-w
Ofental	VS	13.07.	5'000	2003039004	inf
Otemma	VS	11.07.	5'000	2003039015	inf
Otemma	VS	11.07.	5'000	2003039016	inf
Palü	GR	12.08.	5'000	2003039068	inf
Paradies	GR	12.08.	5'000	2003039038	inf
Paradies	GR	12.08.	5'000	2003039039	inf
Petit Combin	VS	11.07.	5'000	2003039014	inf
Porchabella	GR	19.07.	5'000	2003039069	inf
Porchabella	GR	19.07.	5'000	2003039070	inf
Rhone ^P	BE	8.08.	10'000	2003066012	b-w
Rhone ^P , Tiefen ^P , Damma ^c	UR	23.08.	18'700	2003066011	b-w
Rhone ^P , Trift (Gadmen) ^P , Damma ^P , Chelen ^P , Rotfirn ^P	VS	23.08.	16'000	2003066010	b-w
Rosenlauri	BE	12.08.	30'000	2003010168	col
Rossboden ^P	VS	8.08.	8'000	2003066036	b-w
Schwarz ^P , Fründen ^c , Doldenhorn ^c	BE	4.08.	15'300	2003066022	b-w
Schwarzberg ^P	VS	13.08.	8'000	2003067005	b-w
Seewjinen ^c , Schwarzberg ^P , Tälliboden ^c	VS	4.09.	8'400	2003067006	b-w
Segnas	GR	19.07.	5'000	2003039043	inf
Silvretta	GR	19.07.	5'000	2003039076	inf
Silvretta ^c , Verstancla ^c , Tiatscha ^P	GR	13.08.	14'700	2003066001	b-w
Stein ^P	BE	8.08.	9'800	2003066532	b-w
Tambo	GR	12.08.	5'000	2003039042	inf
Trift (Gadmen) ^P	BE	10.07.	8'000	2003066004	b-w
Trift (Gadmen) ^P	BE	4.09.	8'000	2003066504	b-w
Trift (Gadmen) ^P , Chelen ^c , Rotfirn ^P , Stein ^P , Wallenbur ^P	BE	23.08.	17'300	2003066003	b-w

THE SWISS GLACIERS 2001/02 AND 2002/03

Glaciers	Ct.	Date 2003	Scale	Line No.	Film Type	
Trift (Gadmen) ^P , Steinlimi ^P , Stein ^P	BE	23.08.	18'000	2003066002	b-w	
Tsanfleuron ^P	VS	13.07.	5'000	2003039022	inf	
Tsanfleuron ^P , Sex Rouge ^C , Prapio ^C , Pierredar ^C	VD	13.08.	15'300	2003066019	b-w	
Tschingel ^P	BE	7.08.	30'000	2003072001	inf	
Tseudet	VS	11.07.	5'000	2003039018	inf	
Turtmann ^P , Brunegg ^P	VS	8.08.	12'000	2003069006	b-w	
Unt. Grindelwald ^P	BE	2.08.	19'300	2003066007	b-w	
Unt. Grindelwald ^P , Fiescher ^P , Grosser Aletsch (Jungfraufirn, Grosser Aletsch- firn) ^P , Mittelaletsch ^P , Oberaletsch ^P	VS	2.08.	19'000	2003066502	b-w	
Unt. Grindelwald, Ob. Grindelwald, Gauli	BE	12.08.	30'000	2003010164	col	
Unteraar (Finsteraar) ^P	BE	14.07.	12'700	2003065101	b-w	
Unteraar (Lauteraar) ^P	BE	14.07.	13'300	2003065102	b-w	
Unteraar ^P	BE	14.07.	10'300	2003065103	b-w	
Unteraar (Strahlegg ^C , Finsteraar ^P), Fiescher (Galmi) ^P , Oberaar ^P , Unt. Grindelwald ^P	BE	2.08.	11'700	2003066164	b-w	
Unteraar (Finsteraar ^P , Strahlegg ^C , Lauter- aar ^P), Fiescher (Galmi) ^P , Unt. Grindel- wald ^P , Ob. Grindelwald ^P , Gauli ^P	BE	2.08.	14'300	2003066165	b-w	
Vallorgia	GR	19.07.	5'000	2003039071	inf	
Valsorey	VS	11.07.	5'000	2003039019	inf	
Verstancla	GR	19.07.	5'000	2003039077	inf	
c	Glacier shown completely		Type of film:		b-w	black-and-white
p	Glacier shown partially				col	colour
					inf	infrared

5.2 The new Swiss Glacier Inventory 2000

(prepared by F. Paul, A. Kääb, M. Maisch and W. Haeberli)

Background

Accelerated glacier decline in the past two decades [Paul et al., 2004], new technologies for automated glacier inventoring [Paul et al., 2002a], and the recognition of glacier changes as key indicators for global climate change [Haeberli et al., 2000], resulted in the compilation of a new Swiss glacier inventory (SGI). The new inventory utilizes automatic glacier mapping from multispectral satellite data (Landsat Thematic Mapper, TM), GIS-based techniques for efficient data processing, as well as the combination with a digital elevation model (DEM) to obtain topographic glacier parameters for individual glaciers (e.g. minimum and maximum elevation, slope, exposition). With this respect the SGI also serves as a pilot study for the USGS-led project GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space), which aims at a global glacier inventory from satellite data [Bishop et al., 2004]. The study was performed by F. Paul within a SNF granted PhD thesis [Paul, 2007] at the University of Zurich (Department of Geography) under the supervision of A. Kääb.

Previous glacier inventories

Apart from the glacier inventory described by Jegerlehner [1903], the first inventory of Swiss glaciers was compiled in September 1973 from special aerial photographs according to standardized UNESCO guidelines [Müller et al., 1976]. The visually interpreted glacier outlines were transferred to 1:25'000 scale topographic map sheets and evaluated by means of planimetric and cartographic techniques. This first inventory was revised by Maisch et al. [2000], including an extension with glacier outlines from around 1850, documenting their approximate Little Ice Age maximum extent. They were reconstructed from field evidence (moraines) and historic maps of that time and transferred to individual sheets of tracing vellum ("Kalk") at 1:25'000 scale. One important point is that many glaciers have a changed or newly assigned identification number in the revised inventory, which prevents a direct comparison with the inventory from Müller et al. [1976].

Mapping of glaciers from space

Multispectral TM data with 30 m ground resolution are available since 1982 at almost global coverage, what allocates them to be most useful for assessment of glacier change at a global scale. However, for efficient glacier mapping scenes have to be acquired under cloud-free conditions at the end of the ablation period in a year without snow cover outside of glaciers. Together with the 16 day repeat cycle of Landsat, the number of appropriate scenes from the European Alps is quite small (about a dozen). Fortunately, each scene covers 180 by 185 km and only two adjacent scenes are required to map all Swiss glaciers (path 194, 195). The main advantage of multispectral satellite data (compared to aerial photography) is a sensor which records radiation from the middle infrared (MIR) part of the spectrum. In this region snow and ice have a markedly lower reflectance than other materials and can thus be mapped automatically [Paul, 2002b].

The division of the bright grey levels (digital numbers, DN) of ice and snow in the visible light or near infrared (Figure 5.1a) by the low DN's in the MIR (Figure 5.1b), yields a ratio image with

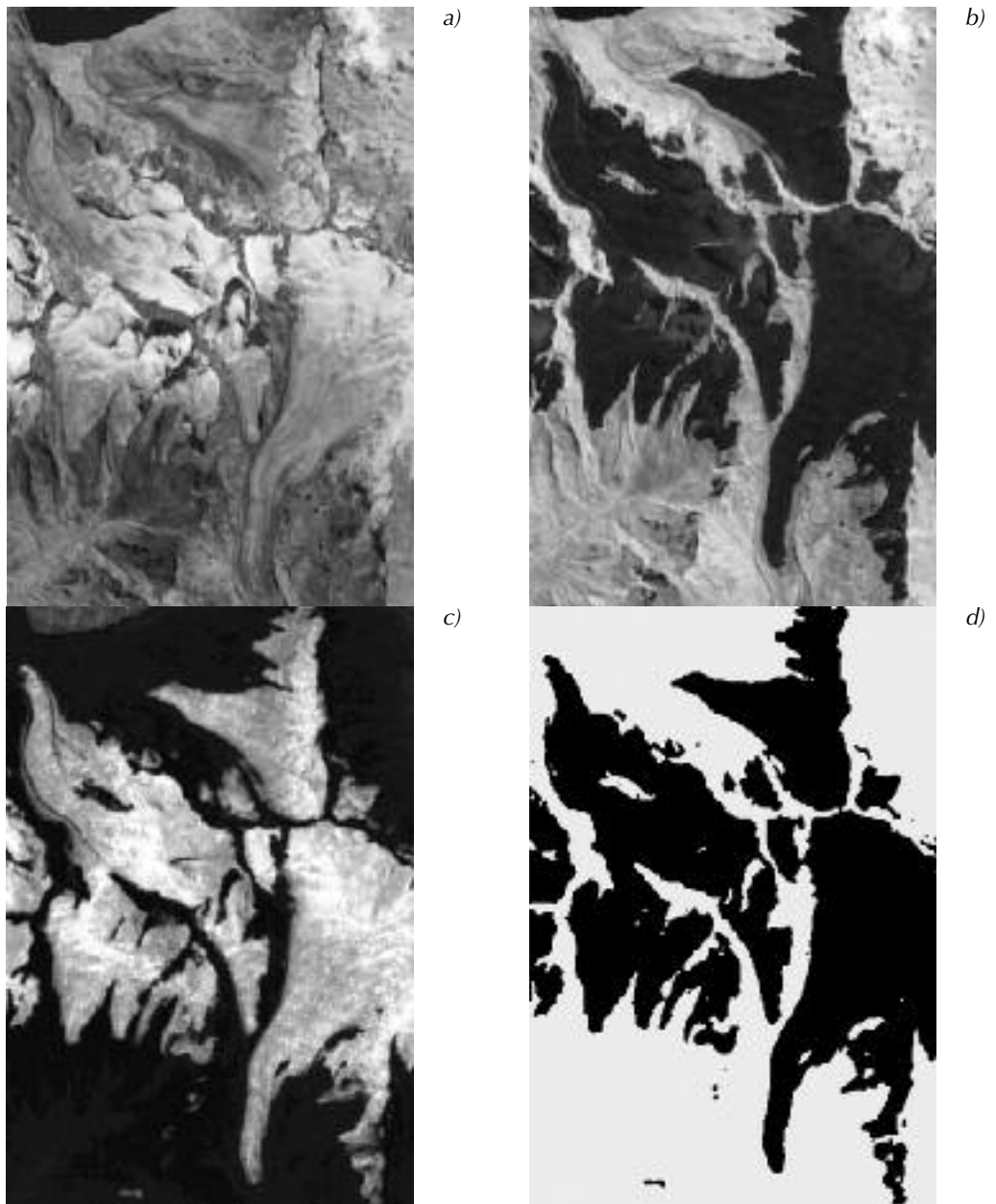


Figure 5.1: Glacier mapping with the TM4 / TM5 ratio method illustrated for the southern part of the Mischabel group. a) near infrared band TM4, b) middle infrared band TM5, c) ratio image (TM4 / TM5), d) thresholded glacier map (black = glacier).

strongly enhanced glaciers (Figure 5.1c). With a simple threshold that is found by empirical tests, a binary glacier map can be created (Figure 5.1d). Of course, debris-covered glacier regions are not mapped with this method, as this regions exhibit the same spectral characteristics as the surrounding rock walls or the glacier fore field. Manual delineation by on-screen cursor tracking on contrast enhanced images has proven to be the most accurate way to include the debris cover. For more details on glacier mapping from space see Bishop et al. [2004], Kääb et al. [2003], Paul [2007] and Paul et al. [2002].

The new GIS data sets

In order to calculate glacier changes automatically, the maps of 1850 and 1973 were digitized from the original topographic maps within the Geographic Information System (GIS) Arc/Info [Wipf, 1999]. Each map sheet was georeferenced before and the digitized line segments (arcs) were converted to individual glacier polygons. For 1850 only the ablation areas were digitized and later connected to the 1973 accumulation areas. Of course, some corrections were also made in the accumulation area if suitable reconstructions exist. The new digital glacier outlines have already been implemented in the second version of the digital Atlas of Switzerland [Ads, 2004]. The glacier maps from 2000 were converted to glacier outlines by simple raster-vector transformation as implemented in Arc/Info (gridpoly). These glacier polygons were then combined with a DEM and statistics for each glacier are calculated from the underlying DEM (or a topographic derivative) using the

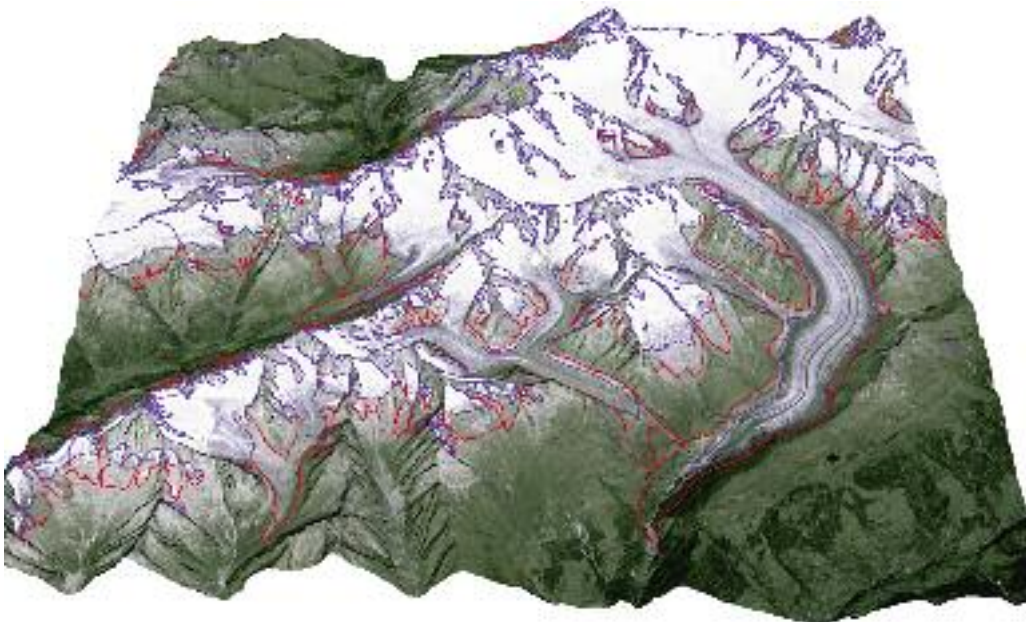


Figure 5.2: Synthetic oblique perspective view of the Aletsch region (fusion of 10 m resolution IRS-1C data with Landsat TM) draped over a DEM. Glacier outlines from 1850 are red and from 1973 are blue. DEM 25: Reproduced with permission from swisstopo (BA071705).

zonalstats command [Kääb et al., 2002]. This gives, for example, minimum, maximum, mean, and median elevation for each glacier [Paul et al., 2002].

Visualizing glacier change

Apart from the explicit calculation of glacier parameters and changes between two dates, the digital data can also be used for visualization of past and ongoing changes. In Figure 5.2 a perspective view from the Aletsch region is displayed as an example. A true colour satellite image is draped over the DEM and combined with glacier outlines from 1850 (red) and 1973 (blue). The dramatic glacier tongue retreat and volume losses are clearly evident. As the satellite data are from 1997/8 a further

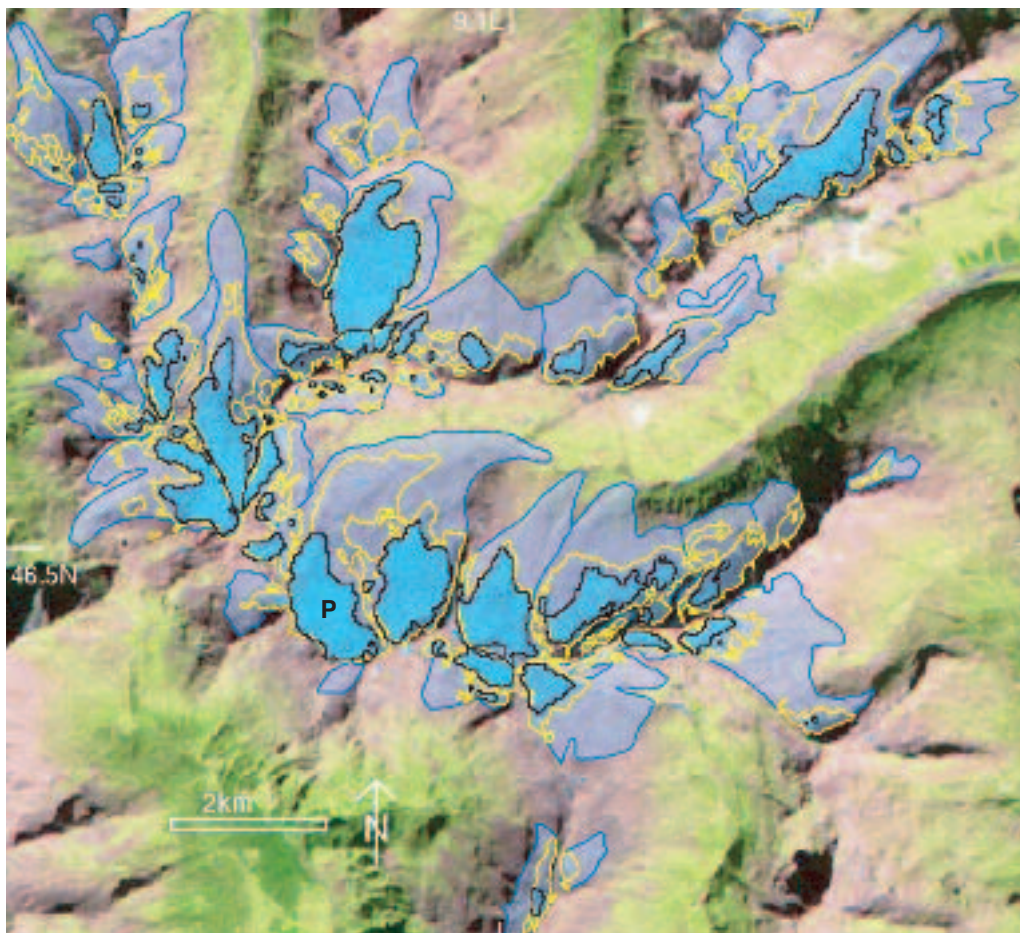


Figure 5.3: Glacier change in the Rheinwald group from 1850 (blue, with hatched areas) to 1973 (yellow) to 1999 (black). The background shows a contrast stretched TM band 5, 4, 3 FCC image from 12th of September 1999, P is Paradiesgletscher.

retreat and shrinkage can be noticed for many glaciers. However, in true colour satellite images the glacier position is often difficult to notice, and false colour composites (FCC) are used for better display .

An example of a FCC is presented in Figure 5.3 for the Rheinwald group showing glaciers in light blue-green colours and overlaid glacier outlines from 1850, 1973 and 1999. For better visibility of all details a nadir view is chosen here [Paul et al., 2003]. The most remarkable features are, that disappearing glaciers are located side by side with stable glaciers (with nearly unchanged geometry) and the loss of the tongue from Paradiesgletscher (P). Both points raise questions about the representativity of individual glaciers for climate change assessments. Indeed, satellite data provide a full overview.

Observed glacier changes 1973-2000

A more quantitative analysis shows an area loss of about -16 % from 1985 to 1998/99 for 938 selected glaciers, with virtually no area change (-1 %) from 1973 to 1985. Scaled to all Swiss glaciers (2057) we calculated an area loss of -18 %, and for all Alpine glaciers (5422) of -22 % (Table 5.3). Most interesting is the large contribution of small glaciers to the total loss of area (44 %), although they cover only 18 % of the total area. Scaled to all Swiss glaciers these values are 54 % and 23 %, respectively (Table 5.3).

Table 5.3: Summary of glacier data for the 1973 - 1998/99 period. "Class" gives maximum glacier size within each area class. "Cum." gives cumulative part on the absolute change in glacier area. Absolut change in area for "Switzerland" (column 9) and "Alps" (column 12) is calculated by multiplication of column 5 with the respective area in each class (columns 8 and 11, respectively).

Class [km ²]	Swiss glacier inventory 2000					Switzerland			Alps		
	Count	Area [km ²] 1973	Area [km ²] 1998/9	Change [%]	Cum. [%]	Count	Area [km ²]	Change [km ²]	Count	Area [km ²]	Change [km ²]
0.1	164	10.1	3.6	-64.6	3.4	1022	40.1	-25.9	1971	101.2	-65.4
0.5	448	110.7	60.3	-45.6	30.2	673	153.9	-70.1	2411	533.2	-242.9
1.0	131	89.6	63.5	-29.1	44.1	151	104.1	-30.3	465	324.8	-94.6
5.0	141	264.2	217.1	-17.9	69.1	157	296.0	-52.8	470	952.5	-170.0
10.0	36	260.7	233.6	-10.8	84.0	35	249.4	-26.9	71	497.7	-53.6
20.0	13	210.0	192.8	-8.2	93.1	14	216.3	-17.7	27	387.9	-31.7
100	5	225.9	213.0	-5.7	100.0	5	225.9	-12.9	7	293.6	-16.8
Total	938	1171.2	982.8	-16.1	100.0	2057	1285.7	-236.7	5422	3090.9	-675.0

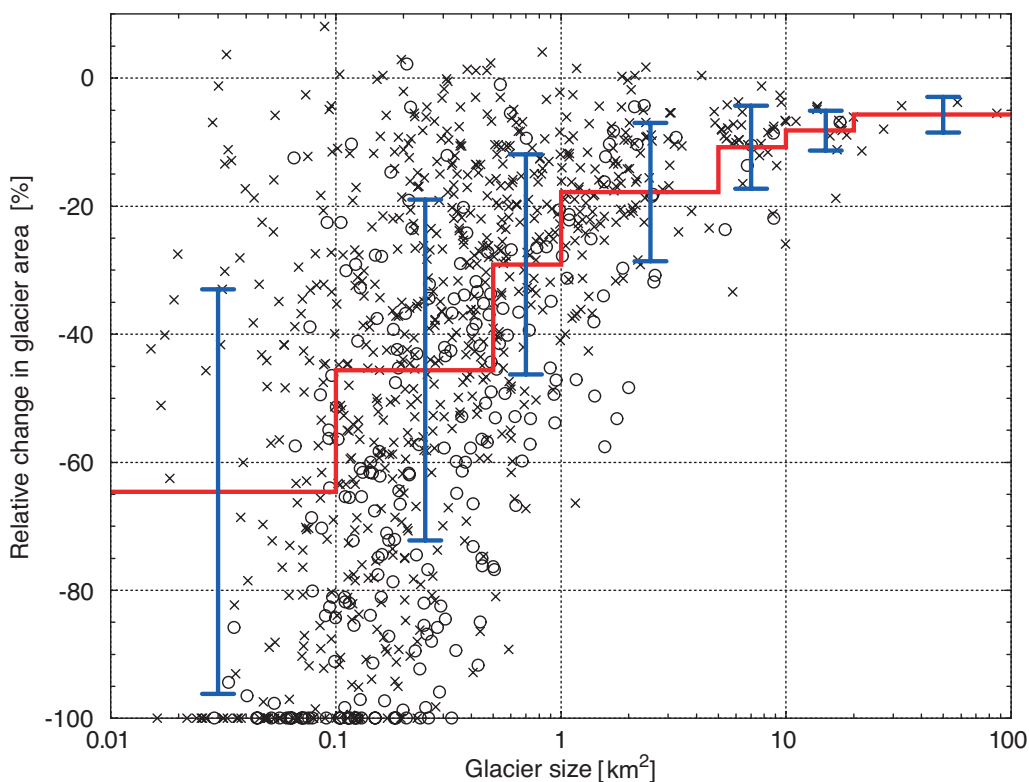


Figure 5.4: Relative change in glacier area with glacier size for two samples (crosses and circles). The red line gives mean values for distinct size classes and blue lines give the respective standard deviations.

The increasing scatter of relative area changes with decreasing glacier size is depicted in Figure 5.4. Again, this graph emphasizes that individual glaciers should not be taken to derive glacier-climate relationships. For a sound evaluation of ongoing changes a large sample should be used. Moreover, the mean area change obtained depends on the glacier sizes used in the sample (red line in Figure 5.4). For this reason the size distribution of the sample under consideration should always be given.

Also most remarkable is the acceleration of area changes from 1985 to 1998/99 compared to the period 1850 to 1973: The mean relative area loss per decade has increased by nearly a factor of seven (Table 5.4). The change of the area distribution with elevation from 1973 to 1998 for a sample of 683 glaciers is illustrated in Figure 5.5. While highest absolute area losses are observed in regions where most glaciers are located (around 2900 m), highest relative losses are found towards lower elevations. A simple extrapolation (dividing the remaining area by the area loss) gives the time when the respective elevation interval will be ice free (black line in Figure 5.5). Assuming the 1985 to 1998 retreat rates instead, the respective ice loss will be two times faster [Paul et al., 2004].

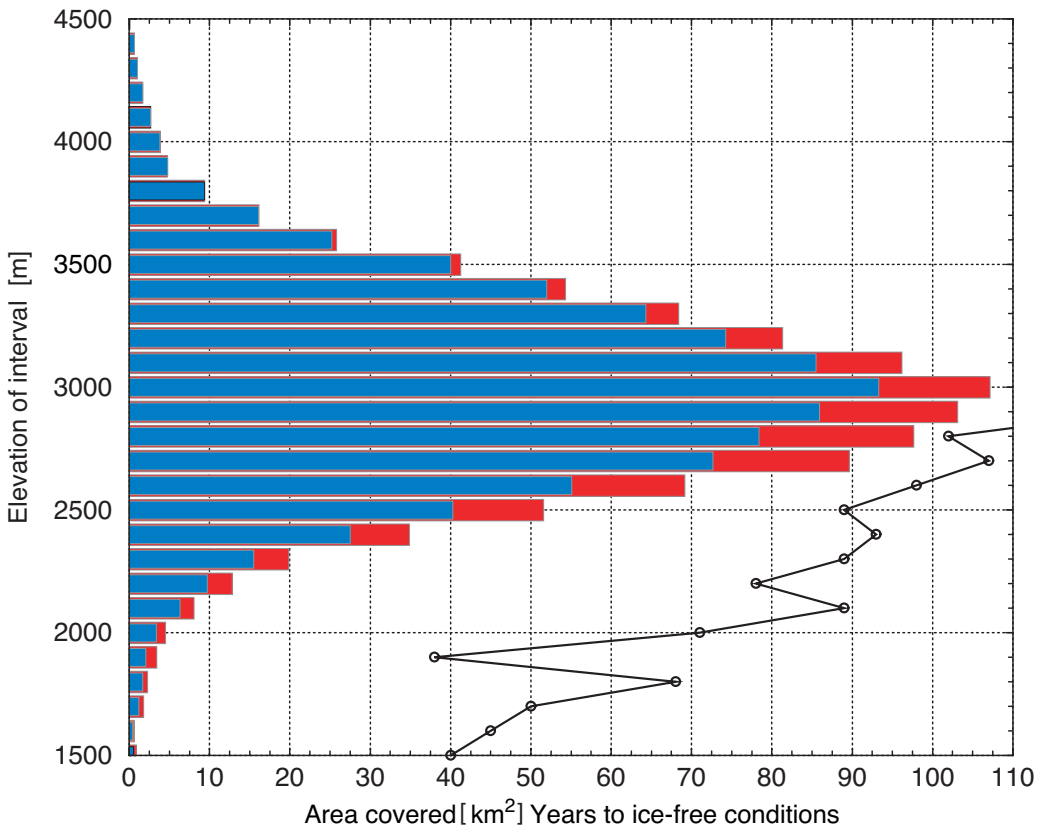


Figure 5.5: Changes in distribution of glacier area with elevation. The bars give values summarized in 100 m elevation intervals for 1973 (red) and 1998 (blue). The black line indicates the number of years after 1998, until the respective elevation interval will be ice-free, assuming the mean 1973 to 1998 retreat rates.

Table 5.4: Average glacier change per decade for 1850-1973, 1973-1998 and 1985-1998. "Class" gives maximum glacier size within each class. Count and area for the 938 glaciers of the 1973 sample are given in Table 5.3. The 1985 sample holds only glaciers smaller than 20 km².

Class	1850		1850 - 1973		1973 - 1998/9		1985		1985 - 1998	
	Count	Area [km ²]	Change / 10a [km ²]	Change / 10a [%]	Change / 10a [km ²]	Change / 10a [%]	Count	Area [km ²]	Change / 10a [km ²]	Change / 10a [%]
0.1	297	17.3	-0.8	-4.5	-2.6	-25.9	79	4.2	-2.0	-46.2
0.5	715	181.3	-7.9	-4.3	-20.2	-18.2	227	53.7	-15.1	-28.1
1.0	249	172.5	-6.3	-3.6	-10.4	-11.6	75	51.0	-10.0	-19.6
5.0	253	524.4	-14.0	-2.7	-18.9	-7.1	76	135.0	-17.2	-12.7
10.0	26	195.5	-3.1	-1.6	-11.3	-4.3	11	79.3	-5.8	-7.3
20.0	18	259.9	-3.0	-1.2	-6.9	-3.3	3	49.1	-2.3	-4.6
100.0	9	270.5	-2.6	-1.0	-5.2	-2.3	0	0	0	0
Total	1567	1621.4	-38.3	-2.2	-75.4	-6.4	471	372.2	-52.2	-14.0

6 Selected Research Projects

6.1 The Summer of 2003 from a Climatological Perspective

(prepared by C. Schär, and H. Blatter)

A record heat-wave dominated the summer of 2003 throughout Europe (Figure 6.1). In Switzerland, all previous records were broken by temperatures that were 5 °C above the long-term mean. The heat-wave affected the entire continent, and the temperatures in the summer months – June, July, August – surpassed the 1961 to 1990 mean by more than 4 °C in vast areas of Central Europe. In the past there had been occurrences of individual hot months, for example, July 1983; however, three very hot months in a row, as in the summer of 2003, was unique in history. In order to facilitate a more precise analysis of this event in Switzerland, 12 carefully homogenized measurement series are available from MeteoSwiss with daily resolution for the years since 1864. In an effort to minimize the interference of local meteorological conditions, the analysis was based on four inde-

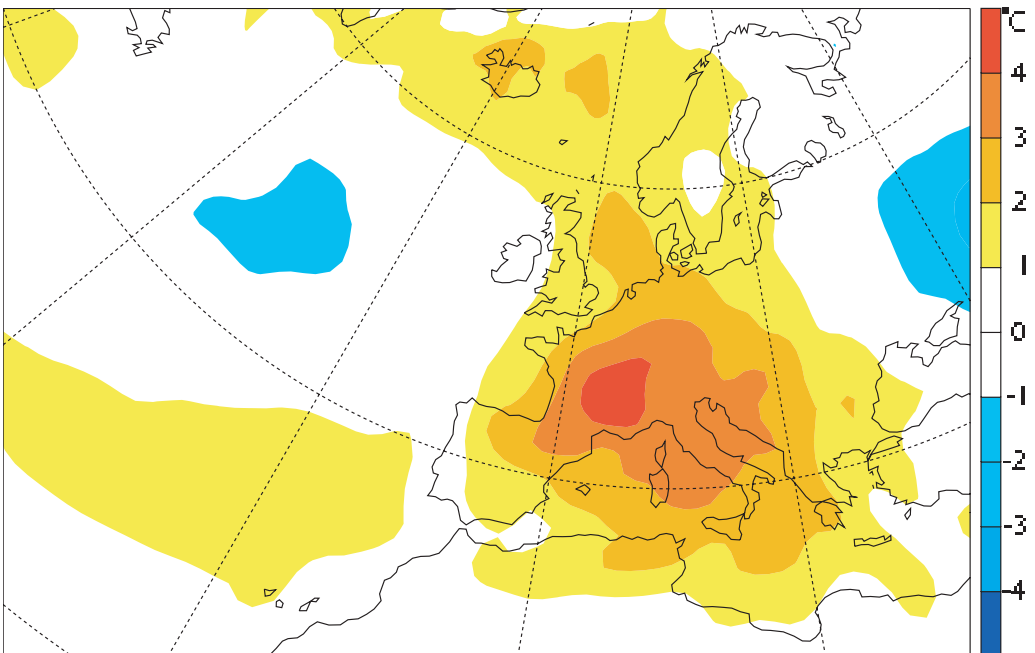


Figure 6.1: Deviation of the mean summer temperatures (June-August) in 2003 from the mean value of the period 1961-90 in °C. The 2003 heat-wave was limited to Central Europe, while Eastern Europe experienced below-averages temperatures.

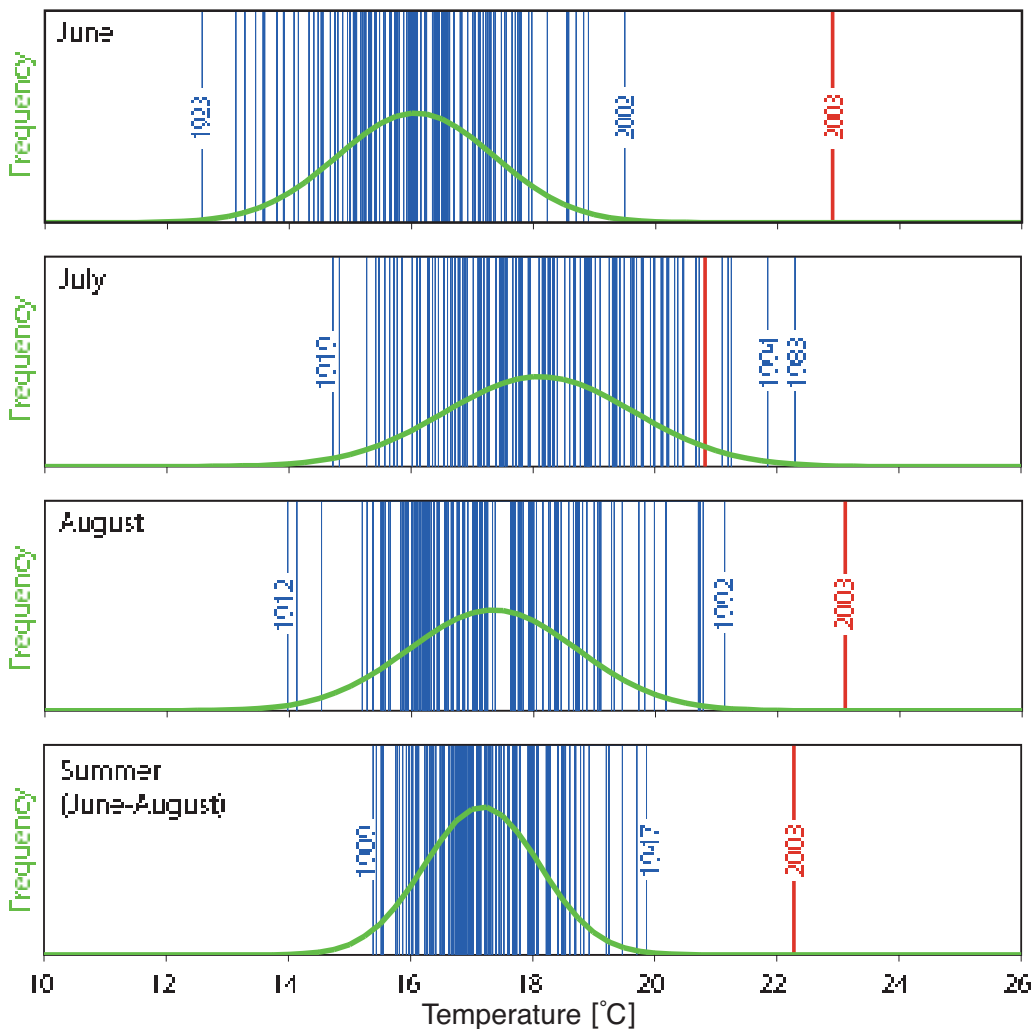


Figure 6.2: Distributions of mean monthly and seasonal summer temperatures for June, July and August, and for the summers of 1864-2003. The fitted gaussian distribution is shown in green. The mean fluctuation for the entire summer is less than for the individual months.

pendent stations (Basel-Binningen, Geneva, Bern-Liebfeld and Zurich) whose data series are of particularly high quality. The mean temperatures for the months of June, July and August and for the entire summer period are shown in Figure 6.2. July 2003 lay within the previously observed temperature range, however, June and August 2003 displaced July 1983 as the hottest months on record. The green curves indicate the estimated occurrence frequencies of a particular monthly temperature. It is clear from the illustrations that the values for June, August and the summer of 2003

lie far beyond the usual range. A reconstruction of the climate by the University of Bern reveals in addition that the summer of 2003 was most likely the hottest in the last 500 years throughout Europe [Luterbacher et al., 2004].

The so-called return period is sometimes calculated for rare extreme events such as this one. The statistics of the Swiss temperature series yield a return period of more than 10'000 years for the extreme summer of 2003, even considering the warming trend of the last decades. There is a large inherent uncertainty in these statistics. A return period of more than 10'000 years includes a period in time in which glacial and interglacial phases occur. In this sense, such statements about return periods lose a major portion of their significance, and serve to point out, at the very most, that such an event is so rare that it cannot be explained satisfactorily by the natural fluctuations in summer temperatures. Although it is likely that climatic warming plays a role here, it cannot be proven conclusively.

A study recently published by the ETH Zurich [Schär et al., 2004] shows that in future, one must expect not only a general increase in temperatures, but also a greater range in summer mean temperatures. Hot periods such as the one experienced Europe-wide last in summer 2003 will in future become more common. The scenarios assume a further increase in atmospheric greenhouse gases as a consequence of the increased use of fossil fuels. Should the calculated scenarios prove to be correct, then toward the end of this century very hot summers will become more the rule than the exception. The model calculations show that in this event, approximately every second summer will likely be as hot or hotter than that of 2003, and parallel to this, a decrease in mean summer precipitation is to be expected. Dynamical and physical aspects of the summer 2003 have been investigated in further detail in two recent publications [Fischer et al. 2007a and 2007b].

6.2 Modelling Mass Balance Distribution over Glacierized Mountain Ranges: The Example of Bernina Group in 1998/99

(prepared by: H. Machguth, F. Paul, M. Hoelzle, W. Haeberli)

Introduction

The summer 2003 heat-wave in Central Europe [Beniston and Diaz, 2004; Schär et al., 2004] has caused record breaking glacier thinning of about -2.5 m w.e. in average [IAHS(CCS)-UNEP-UNESCO-WMO, 2005], i.e. ten-times the 1960-2000 annual mean [Hoelzle et al., 2003]. Moreover, the analysis of latest satellite data [Paul et al., 2004] indicate that down-wasting (i.e. stationary thinning) with the related non-uniform changes in geometry (e.g. disintegration) was a dominant reaction of glaciers to the "hot" decade of the 1990s, rather than a dynamic response (i.e. length change) to the changed climatic conditions. Today, such changes in glacier thickness can be modelled from meteorological input variables with a distributed glacier mass balance model [e.g. Klok and Oerlemans, 2002]. These models utilize a digital elevation model (DEM) to "distribute" the input variables to the topography by means of elevation dependent lapse rates. Advanced distributed models combined with a network of meteostations on the ice and albedo measurements have been



Figure 6.3: Landsat TM scene of the Bernina group from 12th of September 1999.

proven to yield very good results [Brock et al., 2000]. However, all models were tested within the perimeter of individual glaciers and were not applied to larger glacierized catchments, including several glaciers of different size and exposition. But will the tuning for an individual glacier also fit on nearby glaciers? In order to answer this question we have applied a distributed mass balance model to larger glacierized catchments and present our results on the example of Bernina group in southeastern Switzerland.

Model description

When calculating mass balance distribution over larger catchments one has to deal with insufficient meteorological input data. Consequently, we have chosen a simple energy balance model which requires a relatively small amount of input data. The energy balance model forming the base of our approach is described in Oerlemans [2001]. On Alpine glaciers a large fraction of the energy available for melt is contributed by short wave radiation. Thus, we enhanced the simple model by an accurate calculation of incoming short wave radiation on a DEM. We argue that this modified model will perform well for mid-latitude glaciers in rough topography.

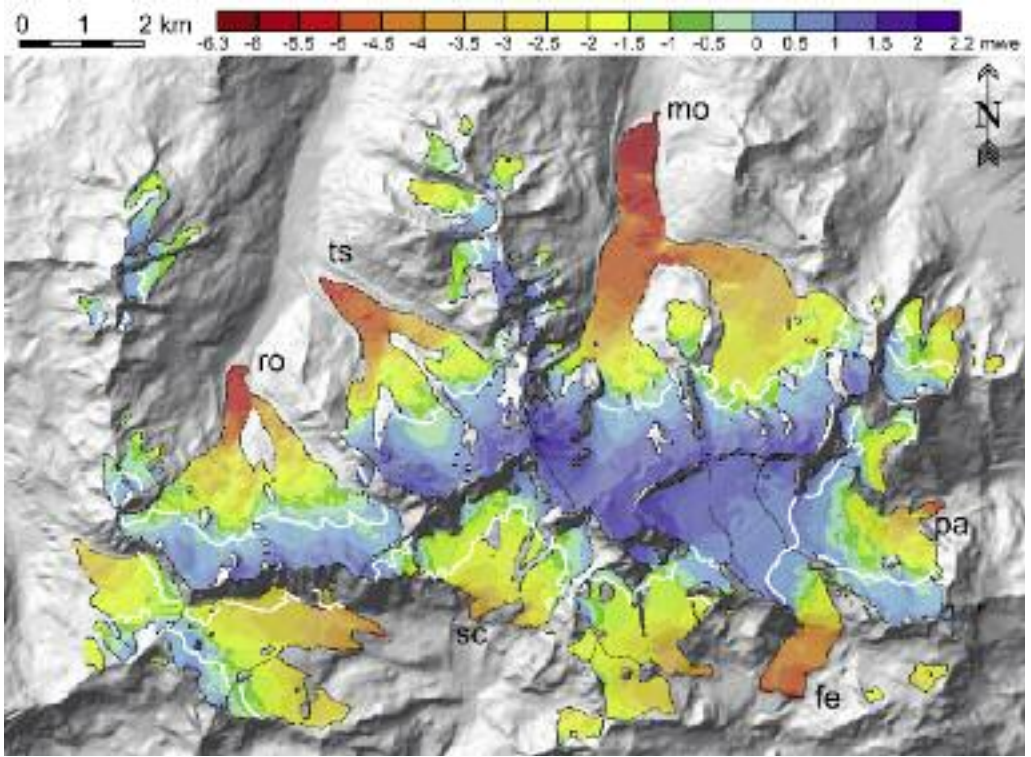


Figure 6.4: Modelled mass balance distribution for Bernina group in 1999. The white lines indicate the observed snowline on 12th of September 1999, as mapped from the Landsat TM scene shown in Figure 6.3. For glacier abbreviations see Table 6.1.

The model runs with daily steps and the cumulative mass balance B_{cum} on day $t+1$ is calculated as:

$$B_{cum}(t+1) = B_{cum}(t) + t(\min(0; -E/L) + P_{solid})$$

where t is the discrete time variable, t is the time step (one day or 86400 seconds), L is the latent heat of fusion of ice (334 kJ/kg), P_{solid} is the solid precipitation in meter water equivalent [m w.e.]. The energy available for melting E calculates as:

$$E = d(1 - \alpha)Q_e + C_0 + C_1T_a$$

where d is a reduction factor for the incoming short wave radiation, accounting for the effect of clouds and haze. The albedo of the surface is α and Q_e is the potential short wave radiation. $C_0 + C_1T_a$ is the sum of the longwave radiation balance and the turbulent exchange, described as a linear function of the temperature at corresponding elevation in the free atmosphere T_a [°C]. Accord-

ding to Oerlemans [2001], C_1 is typically around $10 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ and C_0 can be used as a tuning factor. However, for all calculations we always used a constant value of -25 Wm^{-2} for C_0 .

On the base of this one dimensional model a program for the calculation of distributed mass balance was written. We used GIS-based grid processing, the program operates with two albedo values, α_i for ice and α_s for snow (in the calculation presented here ice albedo was set to 0.34, snow albedo to 0.72). The program decides automatically if there is a snow- or an ice surface. The calculation of the mean daily potential solar radiation is performed by the SRAD code [Moore et al. 1993] on a DEM.

Input data

Here we present a calculation for Bernina group and the balance year 1998/99. Meteorological data for 1998/99 are obtained from Corvatsch (3332 m a.s.l.) and Hospizio Bernina (2212 m a.s.l.) climate station. They are both operated by MeteoSwiss and situated in a distance of about five kilometers from the highest peaks of the Bernina group. Data on temperature and precipitation is used as a direct input for the model, data on global radiation is required to adjust the SRAD-output to the 1998/99 conditions. As measured precipitation in high-mountain areas is related to large errors, the precipitation values from Corvatsch and Hospizio Bernina are multiplied by a factor of 1.5 to achieve a regular mass balance distribution.

Modelled mass balance distribution for the balance year 1998/99

The modelled snowline was compared with the snowline as mapped from a Landsat TM scene taken on the 12th of September 1999 (Figure 6.3). The modelled mass balance distribution for the Bernina group (Figure 6.4) is compared to stake measurements on Morteratsch glacier, conducted by Klok and Oerlemans [2002]. Stake readings on the terminus of the glacier and the modelled values agree well (both give -5.9 m w.e.). In 1999 the terminus of the glacier became snowfree on the 18th of

Table 6.1: Specific net balance, equilibrium line altitude (ELA) and melt on the tongue (Bt) as calculated from the modelled pattern of mass balance distribution in the 1998/99 balance year for six selected glaciers of the Bernina group.

Name and Abbreviation	Area 1999 [km ²]	Specific net balance 1998/99 [m w.e.]	ELA [m a.s.l.]	Bt [m w.e.]
Morteratsch (mo)	16	- 1.1	3110	- 5.9
Roseg (ro)	7.9	- 0.88	3170	- 5.4
Tschierva (ts)	6.6	- 0.78	3130	- 5.1
Palü (pa)	4.8	- 0.32	3200	- 4.9
Fellaria orientale (fe)	3.8	- 0.86	3250	- 4.8
Scersen superiore (sc)	4.3	- 1.16	3250	- 4.4

May and a new permanent snow cover started to build up on 5th of November [Klok and Oerlemans, 2002]. In the model the bare ice surface showed up on the 20th of May and a new snow cover started to build up on the 27th of October. The satellite derived snowline matches the modelled snowline quite well, at least for the glaciers north to the main ridge. On Palü glacier and on the Italian glaciers the snowline is either over- or underestimated. Overestimations mainly occur in locations below steep walls, where the accumulation zones probably consist mainly of avalanche snow. Redistribution of snow by avalanches is not yet included in the model. Underestimation of the snowline, as observed on the glaciers Palü (pa) or Felaria orientale (fe), can have different reasons: The model does neither take into account the spatial variability of meteorological input parameters on either side of the main ridge nor the process of snow redistribution by wind.

Table 6.1 summarizes some model results for six selected glaciers. The modelling gives negative balances and high altitudes of the equilibrium line (ELA) for all selected glaciers. Based on the comparison with measurements on Morteratsch and observed snowlines (Figure 6.3 and 6.4) we assume that these values are quite realistic for the 1998/99 mass balance year in the Bernina group. However, on Palü glacier the snowline is underestimated and the mass balance is in reality probably more negative. In contrast the snowline on Scersen superiore is overestimated and the mass balance

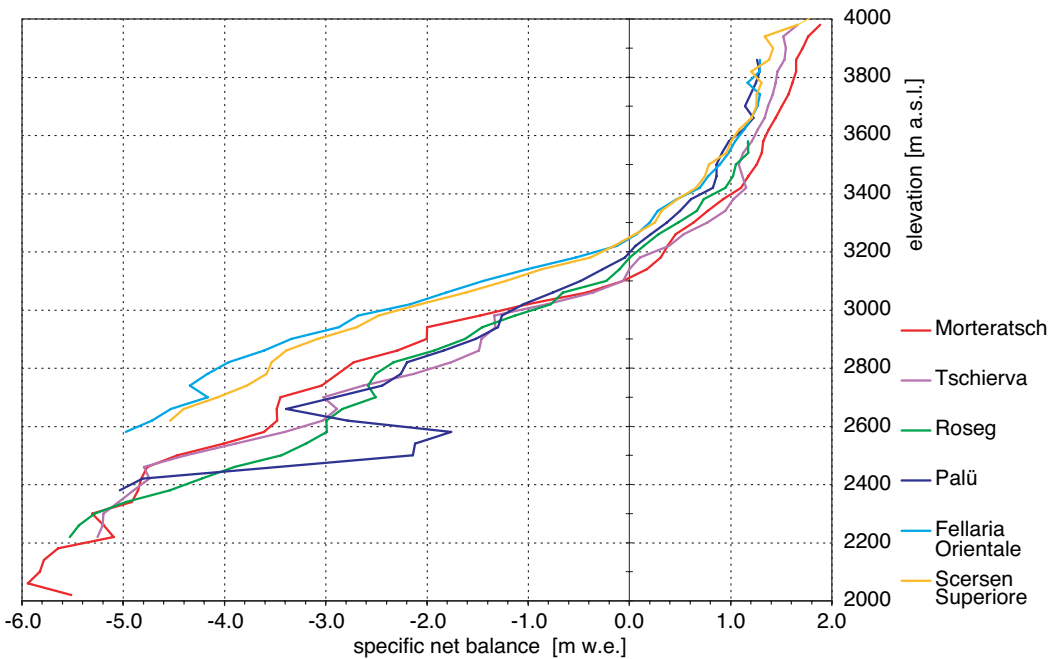


Figure 6.5: Profiles of mean mass balances for 40 m elevation intervals, computed from the calculated pattern of mass balance distribution. The two glaciers exposed to the south (Felaria Orientale and Scersen Superiore) show higher mass balance gradients.

might be more positive. In Figure 6.5 mass balance profiles as computed out of the modelled pattern of mass balance distribution are compared. The typical shape of the mass balance curve with a higher gradient below than above the ELA is visible for all selected glaciers. Between 2500 and 2600 m a.s.l. the melt on Palü glacier is strongly reduced due to shading. Mass balance gradients are also a function of the duration of the melt season [Kuhn, 1980]. The two glaciers exposed to the south (Fellaria Orientale and Scersen Superiore) show higher mass balance gradients because due to a higher availability of solar radiation the melt season starts earlier and ends later than on the other four glaciers.

Conclusions

The mass balance calculation for the Bernina group with a simple distributed energy balance model yields promising results. The modelling matches well with the measurements on Morteratsch glacier and it clearly represents the very negative 1999's balances for all glaciers of the mountain range. The correlation between modelled and satellite derived snowlines is high for the north facing glaciers. Nevertheless there are discrepancies for the glaciers south of the main ridge due to local effects that are not yet included in the model. Spatial distribution of precipitation and cloudiness as well as redistribution of snow by wind and avalanches play an essential role for glacier mass balances. Some effort will be necessary to find adequate parametrisations for these processes and to implement them in future mass balance models.

References

- AdS** (2004). Atlas der Schweiz digital, 2nd. ed. *Institut für Kartographie (ETH) Zürich, ETH-Rat, Bundesamt für Statistik, swisstopo (Ed.)*, CD-ROM, DVD.
- Aschwanden, A., Beck, M., Häberli, C., Haller, G., Kiene, M., Roesch, A., Sie, R. und Stutz, M.** (1996). Bereinigte Zeitreihen: die Ergebnisse des Projekts KLIMA90. *Klimatologie, 1961-90, SMA, Zürich*, 4 Vol.
- Bauder, A., Schär, C. und Blatter, H.** (2004). Die Gletscher der Schweizer Alpen 2001/02 und 2002/03. Auszug aus dem 123./124. Bericht der GK/SCANT. *Zeitschrift "Die Alpen" 10/2004*, 30-39.
- Bauder, A., Funk, M. und Bösch, H.** (2002). Glaziologische Untersuchungen am Glacier du Giétro im Zusammenhang mit der Sicherheit der Stauanlage Mauvoisin. *Moderne Methoden und Konzepte im Wasserbau, Symposium 7.-9. Oktober 2002 in Zürich. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich*, 175 (2), 419-431.
- Beniston, M. and Diaz, H.F.** (2004). The 2003 heat-wave as an example of summers in a greenhouse climate? *Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland. Global and Planetary Change*, 44 (1-4), 73-81.
- Begert, M., Seiz, G., Schlegel, T., Musa, M., Baudraz, G. and Moesch, M.** (2003). Homogenisierung von Klimamessreihen der Schweiz und Bestimmung der Normwerte 1961-1990. Schlussbericht des Projektes NORM90, *Veröffentlichungen der MeteoSCHWEIZ*, 67, 170 p.
- Bishop, M.P., Olsenholler, J.A., Shroder, J.F., Barry, R.G., Raup, B.H., Bush, A.B.G., Copland, L., Dwyer, J.L., Fountain, A.G., Haerberli, W., Kääh, A., Paul, F., Hall, D.K., Kargel, J.S., Molnia, B.F., Trabant, D.C. and Wessels R.** (2004). Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS). Remote sensing and GIS investigations of the Earth's cryosphere. *Geocarto International*, 19 (2), 57-84.
- Brock, B.W., Willis, I.C., Sharp, M.J. and Arnold, N.S.** (2000). Modelling seasonal and spatial variations in the surface energy balance of Haut Glacier d'Arolla, Switzerland. *Annals of Glaciology*, 31, 53-62.
- Dyrgerov, M. and Meier, M.F.** (2005). Glaciers and the Changing Earth System: a 2004 Snapshot. *Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado, Occasional Paper 58*, 117 p.
- Fischer, E.M., Seneviratne, S.I., Lüthi, D. and Schär, C.** (2007a). Contribution of land-atmosphere coupling to recent European summer heatwaves. *Geophys. Res. Letters*, 34, L06707. [DOI:10.1029/2006GL029068].

- Fischer, E.M., Seneviratne, S.I., Vidale, P.L., Lüthi, D. and Schär, C.** (2007b). Soil moisture - atmosphere interactions during the 2003 European summer heatwave. *J. Climate*, 20, 5081-5099.
- Flotron AG** (2003). Vermessung der Aaregletscher, Bericht über die Beobachtungen 2001. *unpublished report commissioned by Kraftwerke Oberhasli AG*, 51 p.
- Funk, M., Morelli, R., and Stahel, W.** (1997). Mass balance of Griesgletscher 1961-1994: different methods of determination. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 33 (1), 41-55.
- Haerberli, W., Cihlar, J. and Barry, R.** (2000). Glacier monitoring within the Global Climate Observing System. *Annals of Glaciology*, 31, 241-246.
- Hoelzle, M., Haerberli, W., Dischl, M. and Peschke, W.** (2003). Secular glacier mass balances derived from cumulative glacier length changes. *Global and Planetary Change*, 36 (4), 77-89.
- IAHS(CCS)-UNEP-UNESCO** (2005). Fluctuations of Glaciers 1995-2000. *World Glacier Monitoring Service, Zurich*, 8, 288 p.
- IAHS(CCS)-UNEP-UNESCO-WMO** (2005). Glacier Mass Balance Bulletin No. 8 (2002-2003). *World Glacier Monitoring Service, Zurich*, 100 p.
- Jegerlehner, J.** (1903). Die Schneegrenze in den Gletschergebieten der Schweiz. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, 5, 486-566.
- Kääh, A.** (1996). Photogrammetrische Analyse zur Früherkennung gletscher- und permafrostbedingter Naturgefahren im Hochgebirge. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich*, 145, 182 p.
- Kääh, A., Paul, F., Maisch, M. and Hoelzle, M. and Haerberli, W.** (2002). The new remote-sensing-derived Swiss glacier inventory: II. First Results. *Annals of Glaciology*, 34, 362-366.
- Kääh, A., Paul, F., Huggel, C., Kieffer, H., Kargel, J. and Wessels, R.** (2003). Glacier monitoring from ASTER imagery: Accuracy and applications. EARSel Workshop on Remote Sensing of Land Ice and Snow, Bern, 11.-13.3.2002. *EARSel eProceedings*, 2, 43-53, CD-ROM.
- Kasser, P., Aellen, M. and Siegenthaler, H.** (1986). Die Gletscher der Schweizer Alpen 1977/78 und 1978/79. 99. und 100. Bericht (Jahrbuch) der GK/SNG, 288 p.
- Klok, E.J. and Oerlemans, J.** (2002). Model study of the spatial distribution of the energy and mass balance of Morteratschgletscher, Switzerland. *Journal of Glaciology*, 48 (163), 505-518.
- Kuhn, M.** (1980). Climate and Glaciers. Sea Level, ice and climatic change. *Proceedings of the Canberra Symposium*, Dezember 1979. IAHS 131, 3-20.
- Luterbacher, J., Dietrich, D., Xoplaki, E., Grosjean, M. and Wanner, H.** (2004). European Seasonal and Annual Temperature Variability, Trends, and Extremes Since 1500, *Science*, 303 (5663), 1499-1503. [DOI: 10.1126/science.1093877].

- Maisch, M., Wipf, A., Denzler, B., Battaglia J. and Benz, C.** (2000). Die Gletscher der Schweizer Alpen. Gletscherhochstand 1850, Aktuelle Vergletscherung, Gletscherschwund-Szenarien. *Schlussbericht NFP 31, vdf-Verlag, Zürich*, 373 p.
- MeteoSwiss** (2001-2003a). Monatlicher Witterungsbericht der MeteoSwiss SMA, September 2001 - Oktober 2003.
- MeteoSwiss** (2001-2003b). *Annalen der MeteoSchweiz SMA*, 134.-136. Jg, 2001-2003.
- Moore, I.D., Norton, T.W. and Williams, J.E.** (1993). Modelling environmental heterogeneity in forested landscapes. *Journal of Hydrology*, 150, 717-747.
- Müller, F., Caffish, T. and Müller, G.** (1976). Firn und Eis der Schweizer Alpen, Gletscherinventar. Geographisches Institut, ETH Zürich. *vdf-Verlag*, 57.
- Müller, H. und Kappenberger, G.** (1991). Claridenfirn – Messungen 1914-1984. *Zürcher Geographische Schriften*, 40, 79 p.
- Oerlemans, J.** (2001). *Glaciers and Climate Change. Sweets & Zeitlinger BV, Lisse.*
- Ostrem, G. and Brugman, M.** (1991). Glacier mass-balance measurements – A manual for field and office work. National Hydrology Research Institute, *Science Report*, 4, 224 p.
- Paul, F.** (2002a). Combined technologies allow rapid analysis of glacier changes. *EOS, Transactions AGU*, 83 (23), 253, 260, 261.
- Paul, F.** (2002b). Changes in glacier area in Tyrol, Austria, between 1969 and 1992 derived from Landsat 5 TM and Austrian Glacier Inventory data. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (4), 787-797.
- Paul, F.** (2007). The New Swiss Glacier Inventory 2000 - Application of Remote Sensing and GIS. *Schriftenreihe Physische Geographie, Universität Zürich*, 52, 210 p.
- Paul, F., Kääb, A., Maisch, M., Kellenberger, T. and Haeberli, W.** (2002). The new remote-sensing-derived Swiss glacier inventory: I. Methods. *Annals of Glaciology*, 34, 355-361.
- Paul, F., Kääb, A., Maisch, M., Kellenberger, T. and Haeberli, W.** (2003). Das neue Schweizer Gletscherinventar: Anwendungen in der Gebirgskartographie. *Kartographische Nachrichten*, 5, 212-217.
- Paul, F., Kääb, A., Maisch, M., Kellenberger, T. and Haeberli, W.** (2004). Rapid disintegration of Alpine glaciers observed with satellite data. *Geophysical Research Letters*, 31, L21402. [DOI: 10.1029/2004GL020816].
- Raymond, M., Wegmann, M. und Funk, M.** (2003). Inventar gefährlicher Gletscher in der Schweiz. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich*, 182, 368 p.

- Schär, C., Vidale, P. L., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C., Liniger, M. and Appenzeller, C.** (2004). The role of increasing temperature variability in European summer heat-waves. *Nature*, 427 (6972), 332-336.
- VAW** (1997). Gletscherveränderungen im Val de Bagnes 1966-1996. 55.04.7903 Bericht für die "Force Motrice de Mauvoisin SA", unpublished.
- VAW** (1998). Mauvoisin – Giétrogletscher; Corbassièregletscher. 55.05.7903 Bericht für die "Force Motrice de Mauvoisin SA", unpublished.
- Wipf, A.** (1999). Die Gletscher der Berner, Waadtländer und nördlichen Walliser Alpen. *Geographisches Institut, Universität Zürich, Physische Geographie*, 40.
- WMO** (2003). WMO statement on the status of the global climate in 2003. *World Meteorological Organization, WMO*, 702, (<http://www.wmo.ch>).



*Photo 5:
Triftgletscher with proglacial lake
in fall 2003. A former subglacial
channel has opened up in the
glacier tongue.
(Photo: F. Funk-Salami)*



Photo 6:
Triftgletscher in fall 2003. Broad glacier basin with a glacier tongue which flows through a narrow passage and over a steep slope.
(Photo: F. Funk-Salami)

Acknowledgements

The Cryospheric Commission again received solid support in this 123rd/124th measuring period from its reliable team of observers. Sincere thanks for their cooperation are extended to: the forestry services from the cantons of Berne, Glarus, Grisons, Obwalden, St. Gallen, Uri, Ticino, Vaud and Wallis, the staff of the hydro-power stations Aegina, Mattmark, Mauvoisin and Oberhasli, all the individual helpers, the Aerial Photography Flying and Coordination Service (CCAP) of the Swiss Federal Office of Topography (swisstopo), Photogrammetrie Perrinjaquet AG (Gümligen) and Flotron AG. The Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW) and the Institute for Atmospheric and Climate Science (IACETH) of the Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, the Geographical Institute of the University of Zurich and colleagues from the national weather service MeteoSwiss provided valuable contributions to the publication of this glaciological report. A special vote of thanks goes to Susan Braun-Clarke for translating the report.

Appendix

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

1 Rhone

2002: Vermessungsflug am 13.9.2002. Photogrammetrische Auswertung und Bestimmung der Längenänderung durch die VAW/ETHZ (VAW/ETHZ - A. Bauder).

2003: Vermessungsflug am 8.8.2003. Photogrammetrische Auswertung und Bestimmung der Längenänderung durch die VAW/ETHZ (VAW/ETHZ - A. Bauder).

2 Muft

2002: Höhenkote des tiefsten Punktes nicht genau feststellbar. Der Gletscher ist dort stark überschüttet und vermengt mit Schutt (U. Wittorf).

2003: Gemessen wurde wiederum das Ende des "reinen" Eises. Stellenweise ist das unmittelbar davor liegende Feld gefrorenes Geröllfeld, d.h. die Zwischenräume sind mit klarem Eis ausgefüllt (U. Wittorf).

3 Gries

2002: Vermessungsflug am 16.9.2002. Photogrammetrische Auswertung und Bestimmung der Längenänderung durch die VAW/ETHZ (VAW/ETHZ - A. Bauder).

2003: Vermessungsflug am 23.8.2003. Photogrammetrische Auswertung und Bestimmung der Längenänderung durch die VAW/ETHZ (VAW/ETHZ - A. Bauder).

4 Fiescher

2003: Der grosse Stein (Länge ca. 30 m, Breite ca. 8 m, Höhe ca. 4.5 m), der bis vor einem Monat noch auf dem Gletscher lag, liegt jetzt unten am Gletscherrand. Am Punkt 8 war blankes Eis zu sehen und dies ist demzufolge der südlichste Punkt. Ein Stück der Gletscherzunge ist seit dem 2. September abgebrochen, deshalb wurde an der Stirn gemessen (P. Aschilier).

5 Grosser Aletsch

2002: Vermessungsflug am 16.9.2002. Photogrammetrische Auswertung und Bestimmung der Längenänderung durch VAW/ETHZ (VAW/ETHZ - A. Bauder).

2003: Vermessungsflug am 8.8.2003. Photogrammetrische Auswertung und Bestimmung der Längenänderung durch die VAW/ETHZ (VAW/ETHZ - A. Bauder).

6 Oberaletsch

2003: Neuen Referenzpunkt 643243.36 / 139595.83 / 2143.77 signalisiert und vermessen (VAW/ETHZ - A. Bauder).

7 Kaltwasser

2002: Bei Punkt 1 ist das neu gebildete Eis von 2001 wieder total verschwunden (M. Schmidhalter).

2003: Durch die andauernde Hitze im Sommer und Herbst 2003 ist der Rückgang markant. (M. Schmidhalter).

12 Kessjen

2002: Vermessungsflug am 16.9.2002. Photogrammetrische Auswertung und Bestimmung der Längenänderung durch die VAW/ETHZ im Auftrag der Kraftwerke Mattmark AG (VAW/ETHZ - H. Bösch).

2003: Vermessungsflug am 8.8.2003. Photogrammetrische Auswertung und Bestimmung der Längenänderung durch die VAW/ETHZ im Auftrag der Kraftwerke Mattmark AG (VAW/ETHZ - H. Bösch).

13 Fee

2002: Der Gletschersee ist gegenüber dem Oktober 2001 grösser geworden. Der Wasserspiegel, sowie der Seeauslauf (Versickerung), sind tiefer als im Vorjahr. Der Seegrund hat sich abgesenkt. Neben der vergrösserten Seeoberfläche zeigt der Vergleich des markierten Steines auf den Photos die Veränderung deutlich. Das Wasser vom Gletschersee versickert am nördlichen Ufer und tritt erst wieder weiter unten an den Tag (U. Andenmatten).

2003: Der tiefste Punkt (Gletscherzunge links) konnte wegen der fehlenden Zugänglichkeit nicht gemessen werden. Punkt 1 entspricht der ungefähren Distanz Gletscherzunge Messgerät (U. Andenmatten).

14 Gomer

2002: Gletscherfuss nicht mehr erreichbar zu Fuss. Die letzten 50-60 m geschätzt (L. Jörger).

2003: Wenn der Gletscher weiter so zurückgeht, ist die Gletscherzunge vom jetzigen Fixpunkt aus nicht mehr einsehbar bzw. kann nicht mehr eingemessen werden (L. Jörger).

16 Findelen

2002: Vermessungsflug am 16.9.2002. Photogrammetrische Auswertung und Bestimmung der Längenänderung durch die VAW/ETHZ (VAW/ETHZ - A. Bauder).

2003: Vermessungsflug am 8.8.2003. Photogrammetrische Auswertung und Bestimmung der Längenänderung durch die VAW/ETHZ (VAW/ETHZ - A. Bauder).

17 Ried

2003: Neuer Referenzpunkt Nr. 70 signalisiert. Vermessung: (GPS) P. Rovina und H. Bösch. Auswertung: A. Bauder.

19 Turtmann

2003: Im Jahr 1998 hat sich rund 120 m vor dem Ende der Gletscherzunge ein kreisrunder Krater von einem anfänglichen Durchmesser von 30 m gebildet. In diesem Frühsommer war der Durchmesser des Kraters inzwischen über 50 m gross und fiel vermehrt in sich zusammen. Der Abstand zum Ende der Gletscherzunge betrug jedoch noch über 100 m. Bei der Gletschermessung am 20. September 2003 war der Gletscher bis zum Krater vollständig abgeschmolzen. Weiter mussten wir beim Überqueren des Gletschers feststellen, dass sich in diesem Sommer die Masse sichtbar massiv reduziert hat. Bei den Eisabbrüchen rechts der Adler-Flüe sind erstmals an zwei Stellen die Felsen sichtbar geworden (P. Tscherrig).

20 Brunegg

2003: Bereits in den letzten Jahren hat die Breite und die Masse der Gletscherzunge massiv abgenommen. Im Sommer 2002 hat sich ein grosses Gletscherstück, ca. 100 m lang, von der Gletscherzunge gelöst, welches in diesem Sommer vollständig abgeschmolzen ist. Der Bereich der Gletscherzunge wird zunehmend steiler und in ein paar wenigen Jahren wird die Gletscherzunge vollständig bis zum grossen Plateau zurückgeschmolzen sein. Am rechten Rand des grossen Plateaus in Richtung "Adler-Flüe" sind die grossen Löcher, welche sich in den letzten Jahren immer mehr aufgerissen haben, in diesem Sommer vollständig verschwunden und es sind die kahlen Felsen sichtbar (P. Tscherrig).

21 **Bella Tola**

2003: Der Gletscher schmilzt nicht primär in der Länge, sondern vermehrt seitlich in den Flanken (P. Tscherrig).

23 **Moming**

2002: Le glacier de Moming ne peut plus être mesuré par méthode de la bande métrique, car l'accès devient très difficile: pente importante, partie de varappe, terrain souvent gelé. Il faudrait s'encorder et avoir du matériel d'escalade (M. Barmaz).

2003: Le glacier de Moming ne peut plus être mesuré par méthode de la bande métrique, car l'accès devient très difficile: pente importante, partie de varappe (M. Barmaz).

25 **Ferpècle**

2003: Volume fortement diminué (F. Pralong).

27 **Arolla (Mont Collon)**

2003: Volume fortement diminué (F. Pralong).

29 **Cheillon**

2002: Recul plus manqué dans la zone des points 4 à 7 à cause de la faible épaisseur de glace (S. Seppey).

2003: Impossible à pratiquer les mesures, trop de neige pour trouver les points et déterminer la glace (S. Seppey).

30 **En Darrey**

2002: On peut remarquer une diminution de la couche de glace, mais pas de recul pour l'instant (S. Seppey).

2003: Fort recul du principalement à la couche mince de glace qui n'a pas résisté à la chaleur estivale (S. Seppey).

31 **Grand Désert**

2002: On remarque dans l'axe central, l'éperon totalement dégagé, ainsi qu'un recule important sur la gauche du glacier. La langue glaciaire est d'une faible épaisseur (F. Vouillamoz).

2003: On remarque une faible épaisseur de glace sur l'avant du glacier. Ainsi que l'éperon central complètement dégagé. Point 2 et 3 estimé (F. Vouillamoz).

32 Mont Fort

2003: On constate en deux ans un net recule sur la partie gauche du glacier ainsi qu'une faible épaisseur de glace. On constate également des travaux de terrassement au niveau du point 1 et 2 ainsi qu'au point B. Point 2 estimé (F. Vouillamoz).

33 Tsanfleuron

2002: Créé un nouvel axe, B (J.D. Brodard).

34 Otemma

2002: Rive droite, la langue du glacier a fortement fondu, de ce fait, la partie centrale du front du glacier ne touche plus le "mur de glace". Le portail glaciaire de la rive gauche a beaucoup reculé, sa voûte est peu épaisse et de plus complètement crevassée. Le retrait est toujours très marqué. A l'aval du "mur de glace" et des vestiges de cônes de glace centraux, une résurgence importante est apparue (J.J. Chabloz).

2003: Rive droite le "mur de glace" couvert de gravier ainsi que les cônes ont fortement diminués. La mesure dans l'axe 14/93 ne bute plus contre ces derniers de ce fait, elle a progressé de 201.9 m. J'ai établi un nouveau point No. 16/03 dans cet axe, mais vu le manque de gros blocs fiables et du fait du changement de lit de cet émissaire, je ne suis pas certain de le retrouver l'an prochain. La rive gauche derrière le portail ainsi que le glacier en amont de ce dernier se sont complètement fracturés et une grosse dépression se forme au bord de la langue (J.J. Chabloz).

35 Mont Durand

2002: Les chiffres sont trompeurs. L'état général de tout le bas du glacier est à la décrue totale. Le gros trou central laisse apparaître le socle rocheux. La rive gauche subit une ablation solaire maximum et va certainement disparaître. La langue frontale à droite des deux portails torrentiels est en train de se séparer du glacier, de ce fait, le rocher du point de mesure va être emporté par le torrent. J'ai commencé le relevé d'un nouveau point (J.J. Chabloz).

2003: Chaos total! La langue frontale s'est disloquée. Le gros trou au-dessus à gauche est l'ouverture d'une cavité d'environ 25 m de diamètre à l'intérieur de laquelle coule le torrent principal qui bifurque complètement rive gauche. Maintenant, des crevasses longitudinales montent jusqu'au gros trou central. Ce dernier s'élargit toujours plus et laisse voir un important

seuil rocheux qui apparaît également sur la rive gauche où l'ablation est très forte du fait de la réverbération et l'accumulation de chaleur dans ces parois orientées au sud (J.J. Chabloz).

36 Brenay

2002: Ici la décrue est moins visible, mais sur place, la rive gauche malgré sa situation à l'ubac couverte de gros blocs, montre bien le phénomène et surtout, la langue frontale libre de glace est très caractéristique. En conclusion de cette observation, décrue totale. En tout cas pour ce qui concerne mes glaciers en dessous de 3100 m environ (J.J. Chabloz).

2003: La crue relevée au point 17/83 est certainement due à la forte pente du socle rive gauche, bien visible sur la photo prise depuis la moraine frontale. La partie centrale de la langue du glacier s'est abaissée et des crevasses bien marquées en demi lune sont apparues, signe d'une forte décrue. A de nombreux endroits les débris rocheux qui couvrent la glace. Un premier avant terrain tourmenté signe de la grosse débâcle dû à la canicule (J.J. Chabloz).

38 Corbassière

2002: Vermessungsflug am 16.9.2002. Photogrammetrische Auswertung durch Photogrammetrie Perrinjaquet im Auftrag der Force Motrices de Mauvoisin SA. Bestimmung der Längenänderung durch die VAW/ETHZ (VAW/ETHZ - A. Bauder).

2003: Vermessungsflug am 02.8.2003. Photogrammetrische Auswertung durch Photogrammetrie Perrinjaquet im Auftrag der Force Motrices de Mauvoisin SA. Bestimmung der Längenänderung durch die VAW/ETHZ (VAW/ETHZ - A. Bauder).

40 Tsendet

2003: Front glaciaire chargé de débris morainiques, zone de glace difficile à situer avec certitude (O. Guex).

43 Trient

2002: Remarques préalables: Un nouveau point de mesure a été défini, à une centaine mètres du front, sur la rive droite du torrent. Ce point a été appelé H. Il n'était pas possible de se rapprocher plus du glacier en raison d'un risque important d'éboulement. Les mesures ont été effectuées bénévolement par un ingénieur géomètre, ce qui garantit la fiabilité du travail. Les positions relatives des points A, B, C, E, P et α ont été vérifiées. On a également mesuré leur position par rapport à des points de référence de la carte nationale (points de triangulation). Un autre point, appelé N, a été défini sur la rive gauche du torrent, non loin des points P et E. Les trois positions mesurées sont données directement en coordonnées nationales. D'ici cet été,

nous décrirons, dans un rapport plus détaillé, les mesures effectuées et les méthodes utilisées pour déterminer les coordonnées nationales des points relevés.

Observations: Les positions des ponts A, B, C, E, P et α qui figuraient sur le plan étaient assez proches de celles que nous avons mesurées, en particulier les points A et B. Le point C était le plus imprécis, avec un écart de l'ordre de 5 m environ. Une méthode d'ajustage courante (moindres carrés) a été utilisée pour transformer les coordonnées relatives de ces points en coordonnées nationales. Le glacier s'est retiré de 245 m depuis 1999, date des dernières mesures fiables effectuées avec le télémètre optique et opérées à partir du point C. Le retrait était de 180 m en 2000 et de 30 m en 2001. Il est donc de 35 m en 2002.

Commentaire sur l'état de la langue du glacier du Trient: Le retrait de 2002 (-35 m) a été du même ordre que celui de 2001 (-30 m), une trentaine de mètres. Ce ralentissement apparent de la fonte, par rapport à 2000 (-180 m), s'explique avant tout par la topographie. En effet, le front du glacier se trouve actuellement dans une gorge assez encaissée et sur une pente bien marquée. Dans ces conditions, le glacier fond moins vite que sur une surface peu inclinée. Cependant, la fonte se poursuit activement, comme en témoigne le débit important du torrent durant une grande partie de l'été. Cette fonte indique probablement une perte d'épaisseur du glacier, qui ne se traduit pas encore par un retrait de grande envergure. L'extrémité de la langue glaciaire menace de s'écrouler, car elle se trouve sur des dalles assez lisses et fortement inclinées. De nombreuses crevasses et fissures révèlent les mouvements de cette partie de la langue. En 2002, le front du glacier était donc toujours dangereux (J. Ehinger).

2003: Attention aux risques d'écroulement de glace: à surveiller! Un nouveau point de mesure a été choisi sur la rive droite, surplombant le glacier, afin de garantir une totale sécurité lors des visées. Les coordonnées précises de ce nouveau point seront déterminées en été 2004. Les mesures effectuées le 22 septembre 2003 à partir de cet emplacement sont purement relatives, pour l'instant. Lorsque les coordonnées du nouveau point seront connues, tous les points relevés auront également des coordonnées nationales précises. En reportant les mesures sur un plan à l'échelle 1:1000, on constate que la régression du glacier du Trient se poursuit à un rythme soutenu. Le glacier perd fortement en épaisseur, ce qui laisse imaginer un recul encore plus important dans les prochaines années, si les conditions climatiques actuelles se maintiennent. De plus, la pointe de la langue est encore appuyée au fond de la gorge. Lorsque ce point d'appui disparaîtra (dans deux ans?) la langue du glacier sera suspendue, reposant sur un versant rocheux en forte pente et relativement (J. Ehinger).

44 Paneyrosse

2003: Point A: plus de glacier; Point III: mesure latérale, elle ne reflète pas très bien le recul. Présence d'énormément de cailloux en surface et de nouvelles crevasses. Le paysage du glacier s'est modifié. La diminution est importante aussi en épaisseur (environ 2-3 m). Il me semblerait opportun, vu la grosse masse glaciaire qui reste, de refaire des nouveaux points de mesure en dessus de la barre rocheuse pour pouvoir continuer les mesures les années futures (J.Ph. Marlétaz).

45 Plan Névé

2003: Points 5 et B120: bientôt plus rien à mesurer. Très vieille glace cachée sous une couche de cailloux. Points 3, 2, 1, 11: peu de différence car il ne semble que la poussée du glacier compense la fonte. Présence d'un bourrelet de cailloux devant la langue du glacier (J.Ph. Mar-létaz).

47 Sex Rouge

2002: Grosse fonte (on entend l'eau sous le glacier). Question aux repères 1 à 3: s'agit il vraiment du glacier ou du névé? (J. Binggeli).

2003: Point 1: glace apparente de 3 x 10 x 10 m émergeant de éboulis. Points 2 et 3: le glacier a "disparu" ou est recouvert par des éboulis (J. Binggeli).

48 Prapio

2003: Été tropical. Ruissellement des eaux de fonte sur la surface de glacier (J. Binggeli).

51 Unteraar

2003: Vermessungsflüge am 13.9.2002 und 14.07.2003. Photogrammetrische Auswertungen durch Flotron AG im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG werden zu einem späteren Zeitpunkt gleichzeitig bei mehreren Aufnahmen gemacht (VAW/ETHZ - A. Bauder).

52 Gauri

2002: Der neue Punkt 2002 ist auf einer felsigen Halbinsel 1.5 m über dem Seespiegel und auf beiden Seiten 5 m vom See entfernt. Die gesamte Gletscherzunge endet nun in einem zusammenhängenden See von 625 m Breite, gemessen von der nördlichen bis zur südlichen Seitenmoräne. Seit 1995 ist der Seespiegel um ca. 5 m gesunken. Wegen der Felsriegel im Vorgelände wird er kaum weiter sinken können. Die Eisdicke im Bereich der Gletscherzunge hat in 22 Jahren ca. 22 m eingebüsst, also durchschnittlich 1m pro Jahr. Wegen der durchgehenden Wasserfläche, kann der Gletscherrückzug nicht mehr mit einem Messband gemessen werden. Zum ersten mal wurde ein Laser Ace Messgerät eingesetzt (R. Straub).

2003: Der See ist vor allem auf der orographisch linken Seite nochmals erheblich grösser geworden. Dies vor allem, weil dort unter dem Gletschereis ein Gletscherbach hineinfliesst. Auffallend waren in den zahlreichen Tümpeln im Gletschervorfeld die Kaulquappen und dutzende von Grasfröschen jeglichen Alters (R. Straub).

53 Stein

2003: Keine Messung mehr von Punkt D aus, weil der Gletscherbach zu viel Wasser führte, um ihn zu überqueren und der Gletscher auf der orographisch linken Seite mit Steinen völlig überdeckt ist (R. Straub).

54 Steinlimi

2003: Im Einzugsgebiet, besonders im Bereich des Giglistocks, sind die Gletscher stark geschwunden, sodass nur noch der Arm vom Tierberg bis in den Talboden reicht. Die Messung von Punkt 1 aus war nicht mehr sinnvoll (R. Straub).

55 Trift (Gadmen)

2002: Vermessungsflug am 13.9.2002. Photogrammetrische Auswertung und Bestimmung der Längenänderung durch die VAW/ETHZ (VAW/ETHZ - A. Bauder).

2003: Vermessungsflug am 4.9.2003. Photogrammetrische Auswertung und Bestimmung der Längenänderung durch die VAW/ETHZ (VAW/ETHZ - A. Bauder).

57 Oberer Grindelwald

2002: Der markante Rückgang und Massenverlust geht weiter (H. Boss).

2003: Weiterer Rückgang und Massenverlust (H. Boss).

59 Eiger

2002: Punkt E' verloren und deshalb E'' neu angelegt. Starke Schuttverschiebungen infolge Starkniederschlägen, Gletscher zieht sich stark nach Südwesten in die Felshänge zurück. Sehr flach. Weiterer Rückgang prognostiziert. Punkt A aufgegeben, Punkt B wird wahrscheinlich letztmals gemessen. Häufige Kleinabbrüche. (R. Zumstein).

2003: Am Rand verlor der Gletscher massiv, nicht nur in Bezug auf die Länge. Das Eis läuft am Rand auf 20 cm Mächtigkeit aus und ist oftmals unterhöhlt. Das Messdispositiv wurde umgestellt und am alten angeschlossen. In Zukunft wird mit der neuen Messrichtung 150 g stärker in Rückzugsrichtung gemessen. Alte Punkte gemeisselt und farbig markiert. Gletscher flach und unterhöhlt (R. Zumstein).

60 Tschingel

2002: Punkte untereinander eingemessen. Punkt G' neu gesetzt, Steinmannli errichtet, Rückzugswerte, ausser am Rand, gleichmässig. Punkt F wird neu wegfallen (tangential am Rand des

Gletschertors links, wo das Wasser erstmals wieder markant stärker läuft). Graben am rechten Rand vertieft sich (R. Zumstein).

2003: Punkt G' beschädigt, an ähnlichem Ort neu angelegt. Punkt F'' zeigt direkt auf das Gletschertor, das stark zurückgewichen ist. Im mittleren Abschnitt trotz Hitzesommer mit 2-4 m Rückgang eher bescheidenes Mass. Der Gletscher ist dünner geworden im Bereich der Gletschertore. Das heisse Jahr 2003 hat auch allen Hängegletschern stark zugesetzt (R. Zumstein).

62 Schwarz

2002: Vorgelände durch Hochwasser stark verändert, viele ausgewaschene Gräben. Die alten Punkte d – g sind wegen hoher Überschüttung nicht mehr messbar. Punkt 4 wurde definitiv fixiert und markiert. Hinter dem Gletschertor befindet sich in ca. 8 m Distanz eine Öffnung in der Eisdecke von einem Durchmesser von ca. 8 m. Es ist möglich, dass das Gletscherende dadurch schneller abschmelzen wird und der Rückzug sich beschleunigen wird (U. Vogt).

2003: Der Gletscher hat stark an Masse verloren. Das Gletschertor ist in Blöcke zerfallen, die einen Trichterrand bilden. Dahinter liegt ein Trümmerfeld von Eisblöcken. Der Gletscher könnte an der Zungenfront in den nächsten Jahren stark abschmelzen. Beim Messpunkt fliesst am Fuss der Felsplatte ein Bach durch, der diese unterspülen könnte. Deshalb wurde Punkt h versichert (U. Vogt).

63 Lämmern

2002: Die Gletscherzunge befindet sich nun wieder auf einer relativ flachen Geländestufe (U. Vogt).

2003: Die Gletscherzunge ist am Rand teilweise in Blöcke zerfallen. Die Eismasse hat hier deutlich abgenommen (U. Vogt).

64 Blümlisalp

2002: Im Bereich der Messpunkte A – B ist der verbleibende Gletscher stark von Moränenschutt bedeckt (U. Fuhrer).

2003: Sehr markanter Rückzug und Massenverlust. Zwei Gletschertore im Bereich bei Punkt B (U. Fuhrer).

65 Rätzli

2003: Zugang nicht möglich. Keine Messungen, Foto Dokumentation 12.9.2003 (Ch. von Grünigen).

66 Tiefen

2002: In der Verlängerung von Punkt 2000 konnte an einer Felsstufe ein neuer Punkt 2002 eingerichtet werden. In diesem Bereich – wo auch das Tor liegt – ist der Gletscher mit einer mächtigen Schuttschicht überdeckt. Entsprechend ist hier auch der Rückgang am geringsten. Der Rückzug im nördlichen Zungenbereich ist mit gut 30 m markant (J. Marx).

2003: Der Rückgang ist im nördlichen Zungenbereich erneut markant. Vor dem Messpunkt 2000 wird das Eis durch eine relativ mächtige Schuttauflage vor dem Abschmelzen geschützt (J. Marx).

67 Sankt Anna

2002: Die Messung bei Punkt 86 wird neu ab dem vor 2 Jahren eingerichteten Punkt 2000 aus gemacht. Im westlichen Zungenbereich wurde ein neuer Punkt 2002 eingerichtet, welcher direkte Sicht zur Gletscherzunge erlaubt. Bei Punkt 93 vermuten wir, dass vor 2 Jahren ein Messfehler gemacht wurde. Entsprechend wurde Punkt 93 für das durchschnittliche Rückzugsmass nicht mit berücksichtigt. Der kleine Gletschersee wird relativ rasch mit Schwemmmaterial aufgefüllt (J. Marx).

2003: Der Firnschnee auf und um den Gletscher ist 2003 praktisch vollständig weggeschmolzen. Selbst im Skipistenbereich ist der Gletscher vollständig frei von Firm. Die Mächtigkeit im Zungenbereich hat stark abgenommen, sodass in den nächsten Jahren mit einem grösseren Rückgang zu rechnen ist (J. Marx).

68 Kehlen

2002: Der Rückgang erfolgte bei allen 6 Messpunkten in etwa im gleichen Rahmen. Der Tiefstand von Ende der 60-er Jahre ist somit auch hier wieder unterschritten worden (M. Planzer, J. Marx).

2003: Der Rückgang liegt in der Grössenordnung des Vorjahres. Durch den sehr ausgeprägten Rückgang des westlich gelegenen Maasplanggfirn wird der Kehlengletscher von dieser Seite nicht mehr genährt, was sich im Zungenbereich markant auswirkt (M. Planzer, J. Marx).

69 Rotfirn

2002: Die Gletscherzunge hat sich über die Chelenreuss zurückgezogen. Nordöstlich der Reuss liegt noch ein vom Gletscher abgetrennter Eisblock (M. Planzer, J. Marx).

2003: Der Rückgang ist bei allen Messpunkten markant. Der letzte Eisrest nordöstlich der Kehlenreuss hat sich aufgelöst. Der Zungenbereich hat in den letzten 20 Jahren massiv an Mächtigkeit verloren, wird jedoch durch eine Schuttauflage relativ gut konserviert (M. Planzer, J. Marx).

70 Damma

2002: Durch den Einbruch des Gletschertores fällt der Rückgang bei Punkt 2001c sehr markant aus (M. Planzer, J. Marx).

2003: Der gemessene Rückgang liegt im Rahmen des Vorjahres. Augenfällig ist der markante Rückgang im Nährgebiet oberhalb 2500 m ü.M. Der gemessene Zungenbereich ist heute eine Toteisscholle, die vom eigentlichen Gletscher isoliert ist. Vor Punkt 1996 wurde ein neuer Messpunkt (2003) eingerichtet (M. Planzer, J. Marx).

71 Wallenbur

2002: Die Längenänderung ist bescheiden, jedoch beginnt der Gletscher seit ca. 5 Jahren in der Mitte einzubrechen. Vor GL 62 hat die Zunge in den letzten Jahren markant Höhe eingebüsst (P. Kläger, J. Marx).

2003: Der Rückgang liegt im Rahmen der letzten Jahre (P. Kläger, J. Marx).

72 Brunni

2003: Der Brunnigletscher wurde seit 6 Jahren erstmals wieder besucht. Das 1990 eingerichtete provisorische Messnetz wurde mit den Punkten 1A, 7 und 8 ergänzt. Die Messpunkte und der Gletscherrand wurden von A. Bauder mittels GPS eingemessen. Via GPS wurde auch der Bezug zu den alten Messpunkten GL 155, GL 156 und GL 157 hergestellt. Durch die Lage der Zunge auf dem Felsriegel fällt die Längenänderung derzeit verhältnismässig bescheiden aus. Die Mächtigkeit hat jedoch seit 1990 sehr markant abgenommen (J. Marx).

73 Hüfi

2002: Der Rückgang ist mit 19.0 m wieder sehr ausgeprägt. Wenn diese Tendenz erhalten bleibt müssen bald sämtliche Messpunkte ersetzt werden (A. Arnold, J. Marx).

2003: Die Messbasislinie wurde um 123 m gegen den Gletscher geschoben und mit einem neuen Punkt 2002 auf einer Felsstufe markiert. Der Rückgang ist mit 61.50 m sehr gross. Die unmittelbar östlich des Zungenbereiches liegende ausgeprägte Geländestufe verhindert, dass der Kessel hinter dem Hüfisee mit Eis genährt werden kann. Bei weiterem Rückgang sind zuverlässige Messungen im Zungenbereich in Frage gestellt (A. Arnold, J. Marx).

74 Griess

2002: Eine exakte Messung wurde durch 10-20 cm Neuschnee erschwert (J. Marx, B. Annen).

2003: Die Längenänderung ist im Vergleich zum Massenverlust in den letzten Jahren verhältnismässig bescheiden. Diese "Konservierung" der Länge dürfte auf die recht dicke Schuttbedeckung zurückzuführen sein (J. Marx, B. Annen).

75 Fimalpeli

2002: Im Gletschervorfeld lag viel Firnschnee. Ausaperung geht von Westen her rasant weiter (W. Bissig).

2003: Bei Punkt 4 wird der Messwert vom Vorjahr bezweifelt (2002 lag Firnschnee) (J. Hess, W. Bissig).

76 Griessen

2002: Im Gletschervorfeld lag viel Firnschnee, darum konnte Punkt 1 nicht gefunden werden. Übergang Schnee zu Eis musste geschätzt werden (W. Bissig).

2003: Bei Punkt 1 ist eine vorgelagerte Nebenzunge vollständig geschmolzen. Kein Firnschnee (W. Bissig).

77 Biferten

2002: Die Messung nehme ich erstmals von der Ostseite her in Angriff. Die Station E erweist sich als günstiger Ausgangspunkt. Die Überquerung des Gletscherbaches können wir so umgehen, denn die Messung der Gletscherzunge kann bis zum tiefsten Punkt von Osten her und der Rest dann von Westen her erledigt werden. Von Ost nach West gelangen wir direkt über den Gletscher. Doch auch hier muss ich mit einem HP (2002) den ich als Vektor berechne, etwas eine bessere Position wählen um den Gletscherrand ohne Hindernisse einzusehen.

Diesen HP werde ich das nächste Mal als Festpunkt gut markieren und für die nächsten Messungen gebrauchen. Die bekannten Vergleichspunkte habe ich natürlich auch dieses Jahr wiederum gemessen. Der Abstand des Gletschers zur Fassung der KLL hat nun die Entfernung von 102 m erreicht. Der tiefste Punkt liegt bei 1945.3 m ü.M. (H. Klauser).

2003: Die letztes Jahr angekündigte Punktbestimmung näher am Gletscher bewährt sich. Mit Spitz und Fäustel wird ein Ring mit Zentrum dauerhaft markiert. Auf den Plänen ist dieser Punkt mit der Nummer 2003 eingetragen. Vom Punkt aus sieht man vorwiegend in den Bereich des ersten Gletschertores, dem tiefsten Punkt des Gletschers, bis hinüber zur Station 101. Der tiefste Punkt am Gletscher hat sich auf die neue Höhe von 1949.9 m ü.M. verändert. Die Lage des Gletscherbachs hat sich nicht verändert.

Die Distanz zur KLL-Fassung wächst weiter, sie beträgt nun bereits 117.2 m. Schuttbedeckung im Bereich "Gletschersümpfe". Ein zweiter neuer Fixpunkt wurde mit der Nummer 2031 im Plan bezeichnet. Das zweite Gletschertor weist eine Höhe von 2012.0 m ü.M. aus, der Gletscherbach fließt gute 6 m tiefer (2006 m ü.M.). Die Messung habe ich noch nie so weit in Richtung Südwest vorangetrieben, es wird aber in Zukunft auch dort Vergleiche zu begutachten geben (H. Klauser).

78 Limmern

2002: Messung durch Schuttbedeckung erschwert (U. Steinegger).

2003: Schutt bedeckt. Neues Seelein bei Punkt 2. Punkt 6: starker Rückzug. Eisgrenze parallel mit Messrichtung (4200 ‰) (U. Steinegger).

79 Sulz

2003: Die diesjährige Messung über die vergangenen 2 Jahre ergab einen mittleren Rückzug von -8.25 m in einem Jahr. Damit schreitet der Rückzug des Sulzgletschers weiter voran und das Ende seiner Existenz ist absehbar. Wir messen ihn seit 1912 und Perioden des Rückzuges wurden immer wieder von Vorstössen abgelöst. So betrug 1990 die kumulierte Längenänderung noch -16.2 m. Ab dann ging es jedoch immer schneller und in den letzten 10 Jahren betrug die Bilanz -60 m. Einen Rückzug in dieser Grössenordnung verzeichnete er übrigens auch 1923-1962, d.h. aber auch, dass er sich damals 40 Jahre Zeit liess dafür. Erstmals beobachtete ich dieses Jahr zusätzlich einen markanten Rückgang in der Mächtigkeit (Th. Rageth).

80 Glärnisch

2002: Die markanteste Veränderung ist sicher beim tiefsten Punkt zu erkennen, dort hat sich der Gletscher von 2297.5 m auf 2317.5 m ü.M. und um 60 m horizontal zurückgezogen. Die Lage der kleineren Gletscherbäche 2 und 3 haben sich kaum verändert. Am südlichen Ende des Gletschers lag noch etwas Firnschnee, daher ist dort der Gletscher wohl wieder etwas vorgestossen, was sich nur unmerklich auf das Gesamtergebnis von -2.6 m auswirkt (H. Klausner).

2003: Messung von Station 12 aus, mit Sicht auf den gesamten vermessenen Gletscherrand. Der tiefste Punkt hat sich um 9 Höhenmeter nach oben auf die neue Kote 2326.1 m ü.M. verschoben. Nur einen Gletscherbach konnten wir eindeutig ausmachen: er befindet sich auf der Höhenkote 2330.0 m ü.M. Die Südflanke des Gletschers konnte ich dieses Jahr äusserst weit hinaus kartieren. Am Gletscher herrschten beste Messbedingungen (H. Klausner).

81 Pizol

2002: Die Gletscherkontrolle erfolgte am 14. September 2002. Die Messungen erfolgten ab den Messpunkten C1, C2 (und B2, wegen der Vergleichbarkeit mit der letzten Messung), C3, C4, C5 und C6. Alle Messungen wurden wieder im Azimut 250 mit dem Fadenmessgerät gemacht. Der Gletscher war im oberen Bereich leicht schneebedeckt, und im Mittelbereich fielen wieder das schöne Blaueis und die deutliche Spaltenbildung orografisch rechts auf. Alle Messpunkte der C-Linie waren frei und gut zu finden. Wegen der Schuttüberdeckung musste der Eisrand bei Punkt 4 vermutet werden. Die übrigen Zungenpunkte waren recht exakt als Eisrand zu erkennen. Vergleich mit dem Vorjahr: Wegen der dünnen Eiszunge am Gletscherrand reagiert der Pizolgletscher immer stark auf die Niederschlagsmenge des vorangehenden Winters. Seit der

letzten Messung (Jahr 2000) hat er sich wieder relativ stark zurückgezogen. Dies war wegen der relativ geringen Schneelage des vergangenen Winters auch zu erwarten (A. Hartmann).

2003: Alle Messungen erfolgten mit dem Fadenmessgerät im Azimut 250⁸ (400) ab den 6 Basispunkten der C-Linie. Der Gletscher war schneebedeckt, die Spalten traten jedoch sehr gut zu Tage. Seit der letzten Kontrolle (2002) haben sich Felsstürze ereignet. Die ersten 5 Messpunkte der C-Linie waren frei und gut zu finden. Der Gletscherrand war in diesen Punkten überall als klarer Eisrand zu erkennen. Wegen der Schuttüberdeckung musste der Gletscherrand bei Punkt 6 vermutet werden. Der durchschnittliche Rückzug im Jahr 2003 betrug annähernd 30 m. Aufgefallen ist auch das vollständige Fehlen von Firn oder von vorgelagerten Schneefeldern. Im Vorfeld des Gletschers haben sich 7 kleine Seen gebildet. Die ungefähren Koordinaten der Basispunkte der B – und C – Linie wurden mit einem GPS-Gerät erfasst (Erleichterung der Suche bei Folgekontrollen) (A. Hartmann).

83 Punteglias

2003: Genauigkeit: Das verwendete Gerät (GPS) erreicht theoretisch die geforderte Genauigkeit von unter 1 m. Vergleichsmessungen an zwei bekannten Fixpunkten haben allerdings nur eine Genauigkeit von unter 3 m ergeben (trotz gutem Wetter, genügend Satelliten und hoher, angezeigter Gerätegenauigkeit).

Im Weiteren: Die Gletscherzunge ist vollständig von Schutt überlagert und deren Verlauf ist nicht überall genau bestimmbar, d.h. es können auch in dieser Hinsicht Messfehler auftreten. Der Gletscher hat sich seit 2001 praktisch nur an seinen seitlichen Enden zurückgezogen. Da im 2001 die Messpunkte 9114 – 9116 nicht erhoben werden konnten, wird dies auf dem Erhebungsblatt nicht deutlich. Ein Vergleich mit der Messung von 1999 bringt allerdings Klarheit. Im zentralen Bereich ist die Gletscherzunge seit 2001 praktisch unverändert geblieben, bzw. hat sich leicht vorgeschoben. Dies entspricht den Beobachtungen der letzten 10 Jahre: Im zentralen Bereich war der Gletscherschwund im Verhältnis zu den seitlichen Bereichen klein. Gletschertore: Ost: ca. 15 m breit und 1m hoch, begehbar. West: ca. 30 m breit und 5 m hoch, bis 30 m unter die Eismassen begehbar (eindrücklich!). Der östliche Zungenlappen steht vermutlich nicht mehr mit dem aktiven Gletscher in Verbindung. Über die schwache, im Nordosten des Sees noch bestehende, Eisverbindung findet vermutlich kein Massennachschub mehr statt. Es wurde daher auf die Messung der Punkt 9116 und 9117 verzichtet. Aus beiden Gletschertoren fließt kein Wasser mehr. In den See tritt wenig, klares Wasser ein. Die Ferrera führt wenig und klares Wasser. Sie ist praktisch vollständig von Eis und Schnee bedeckt (M. Frei).

84 Lenta

2003: Zungenende mit viel Schutt überdeckt. Massenschwund offensichtlich grösser als Längenschwund. Starker Schwund in Steilstufe (152000/722700) (B. Riedi).

85 Vorab

2003: Optische Messung litt etwas unter Gewitter (Punkt 2). Neue GPS-Messpunkte eingerichtet. Punkt 1 fiel dem Skibetrieb zum Opfer (R. Hefti).

86 Paradies

2002: Am Messtag war das Zungenende mit einer leichten Neuschneesicht überdeckt. Die Messung folgte der Schnittstelle Eis/Schnee – Fels/Geröll. Es war in diesem Jahr möglich, das Zungenende relativ gut zu bestimmen. Auffallend ist die erneute Verminderung der Gletschermasse. Der Rückgang der Eismächtigkeit beim Gletschertor ist offensichtlich (O. Hugentobler).

2003: Flächenmässig hat sich der Gletscher gegenüber dem Vorjahr nur wenig verändert. Die Eismächtigkeit hat sich allerdings stark vermindert. Der 4. September 2003 war der wärmste Messtag, den ich am Paradiesgletscher erlebt habe. Die diversen Starkniederschläge seit dem Herbst 2002 haben den Mäander des Hinterrheins im Vorfeld des Gletschers stark verändert (O. Hugentobler).

87 Suretta

2002: Das Zungenende ist immer noch von Lawinenschnee des schneereichen Winters 2000/2001 überdeckt. Seit 1997 war es nicht mehr möglich den eigentlichen Gletscherrand in ausgeapertem Zustand zu ermitteln. Der obere Teil des Gletschers ist nur noch durch schmale Eisteile mit dem Zungenende im flacheren unteren Teil verbunden. Bei fortschreitendem Schmelzprozess werden diese Eisreste nicht mehr mit dem unteren Gletscherteil verbunden sein. In den nächsten Jahren sollten neue Messbolzen auf etwa 2300 m ü.M. angebracht werden. Der diesjährige Rückzug von 93.80 m bestätigt, dass im Vorjahr kein echter Vorstoss stattgefunden hat (O. Hugentobler).

2003: Trotz hohen Temperaturen befindet sich immer noch Lawinenschnee auf dem Zungenende. Der sehr frühe Messzeitpunkt wurde vom kantonalen Forstdienst veranlasst. Das gemessene Zungenende ist nur noch durch einen schmalen Eisstreifen mit dem eigentlichen Gletscher verbunden. Verschiedene eisfreie Felskuppen mitten im Gletscher haben sich bei den diesjährigen hohen Temperaturen erwärmen können. Damit wurde der Schmelzprozess auch in höheren Lagen beschleunigt. In den kommenden Jahren muss geprüft werden, wo neue, höher gelegene Messpunkte installiert werden sollen (O. Hugentobler).

89 Verstankla

2002: Am Tag der Gletschermessung war das Wetter bewölkt und zum Teil leicht regnerisch. Die Temperatur lag um die 10 °C. Bei der diesjährigen Messung wurde ein GPS-Gerät eingesetzt. Etwas mehr als die Hälfte des Gletschers war ausgeapert. Alle Messpunkte und Hilfspunkte liessen sich sofort auffinden. Die Farbmarkierungen sind verblasst und sollten bei Gele-

genheit erneuert werden. Die Begrenzung der Gletscherzunge liess sich durchwegs deutlich erkennen. Die Begrenzungslinie wurde so aufgenommen, dass an jedem Knickpunkt und dem Gletschertor ein Punkt, durch jeweils 10 Einzelmessungen, bestimmt wurde. Insgesamt sind so 14 Gletscherrandpunkte eingemessen worden. Um die Werte der neuen Messungen in die alte Messreihe zu integrieren, wurden die Distanzen von den einzelnen Fixpunkten bis zum Gletscherrand mit den vorgegebenen Azimut (118° bzw. 140°) unter Berücksichtigung des Höhenunterschiedes umgerechnet. Seit der letzten Messung hat sich der Verstanklagletscher demnach um 24 m (Geländemass) zurückgezogen. Der Rückzug des Gletschers hat sich bei allen Messpunkten gezeigt. Die Messung von P'0 aus dürfte in naher Zukunft problematisch werden, da der Schnittpunkt hier schleifend ist. Am schwächsten ist der Rückzug (analog zum letzten Jahr) bei P'2. Der Abfluss des Wassers teilt sich zirka zu einem Drittel auf das Nord- und zu zwei Drittel auf das Süd-Gletschertor. Auf der ganzen Breite des Gletschers sind kleinere Wasseraustritte aus dem Geröll festzustellen. Im Bereich des Gletscherrandes liegt zum Teil viel Geröll auf dem Eis (M. Maikoff).

2003: Der Gletscher war grösstenteils ausgeapert. Alle Messpunkte und Hilfspunkte liessen sich problemlos auffinden. Weil die Gletscherzunge sehr stark von Blockschutt und Feinmaterial bedeckt ist, konnte der Gletscherrand auf der orographisch linken Seite stellenweise nur schwer erkannt werden. Auf der rechten Seite hingegen konnte die Begrenzung des Gletschers meist gut erkannt werden. Um die Werte der neuen Messungen in die alte Messreihe zu integrieren, wurden die Distanzen von den vorgegebenen Azimut (118° bzw. 140°) unter Berücksichtigung des Höhenunterschiedes umgerechnet. Die Messung von P0 aus musste aufgegeben werden, weil kein sinnvoller Schnittpunkt zwischen Linie Azimut 140° und Gletscherrand in diesem Jahr gegeben ist. Der Abfluss des Wassers aus dem Gletscher teilt sich auf drei in der Karte eingezeichnete Abflüsse, von (N nach S), zu 40 %, 20 %, und 40 %. Auf der ganzen Breite des Gletschers sind kleinere Wasseraustritte aus dem Geröll festzustellen (M. Maikoff).

90 Silvretta

2002: Vermessungsflug am 17.9.2002. Photogrammetrische Auswertung und Bestimmung der Längenänderung durch die VAW/ETHZ (VAW/ETHZ - A. Bauder).

2003: Vermessungsflug am 13.8.2003. Photogrammetrische Auswertung und Bestimmung der Längenänderung durch die VAW/ETHZ (VAW/ETHZ - A. Bauder).

91 Sardona

2002: Der Gletscher wies keine Schneebedeckung auf. Der Gletscherrand war, ausser bei der durch Schutt überführten Stelle, meistens gut erkennbar. Die Messpunktemarkierungen wurden wiederum rot nachgefärbt. Die Messungen erfolgten ab den Messpunkten 1, 2, 3, 4, 5 und 6. Alle Messungen wurden wieder mit dem Fadenmessgerät im Azimut 295° vorgenommen. Der Gletscherrand war bei den Punkten 1 und 3 als klar definierter Eisrand gut erkennbar. Bei Punkt 2 war der Gletscherrand von Schutt überdeckt. Er konnte für die Messung jedoch wieder

recht sicher vermutet werden. Der Fels oberhalb Punkt 3 trat deutlich hervor. Bei den Punkten 4 und 5 war der Eisrand wegen Firnüberdeckung nicht erkennbar. Bei Punkt 4 sind wieder die grossen, vom Gletscher transportierten Blöcke, aufgefallen. Bei Punkt 6, wo der Gletscher sehr flach wird, hat sich das Bild gegenüber der letzten Kontrolle (Sept. 2000) stark verändert. Als offizielle Messung haben wir die Distanz zum wesentlich kleiner gewordenen und isolierten Firnfeld eingetragen. Eine zweite Messung, ab diesem Punkt mit einer Distanz von 242 m, liess uns hier den sehr weit oben befindlichen Eisrand erreichen. Weil die Berücksichtigung dieser Messung das Bild verfälschen würde, haben wir sie nicht in das Protokoll eingetragen. Die Spalten waren wieder an den gleichen Stellen wie früher deutlich erkennbar. Die im Jahr 2000 festgestellten kleinen Firnfelder, unterhalb des Gletschers, sind wieder kleiner geworden. Die Grösse der Mulde oberhalb Punkt 3 und das deutliche Hervortreten des Felsens verstärkten bei uns den Eindruck, dass der Gletscher weiter in seiner Stärke abgenommen hat (A. Hartmann).

2003: Der Gletscher wies keine Schneebedeckung auf und die Temperatur betrug (mit Föhn) ausserordentlich hohe 20 °C. Die Messungen erfolgten ab den Messpunkten 1, 2, 3, 4, 5 und 6. Alle Messungen wurden wieder mit dem Fadenmessgerät im Azimut 295 ° vorgenommen. Der Gletscherrand war in allen Punkten als Eisrand ausgebildet. Bei Punkt 2 und 3 war der Gletscherrand leicht von Schutt überdeckt. Er konnte für die Messung jedoch wieder recht sicher geortet werden. Beim Punkt 4 war der Eisrand wegen starker Schuttüberdeckung nicht direkt erkennbar. Er konnte aber relativ exakt vermutet werden. Zwischen Punkt 5 und 6 befand sich ein grosses Schuttfeld. Bei Punkt 6 ergab Azimut 295 ° keinen Schnittpunkt mehr mit dem Gletscherrand. Deshalb erfolgte die Messung in diesem Punkt im Azimut 285 °. Firn oder vorgelagerte Schneefelder wurden dieses Jahr überhaupt keine festgestellt. Vergleich mit dem Vorjahr: Der Gletscher ist dieses Jahr mit einem mittleren Rückzug an allen Punkten von rund 42 m stark geschwunden, was allerdings nach dem nicht besonders schneereichen Winter 2002/2003 und dem Extremsommer 2003 nicht verwundert. Der Gletscher stand am Kontrolltag noch in starkem Schmelzprozess. Dies war an den nachmittags Hochwasser führenden Abflussbächen gut erkennbar. Um bei nachfolgenden Gletscherkontrollen das Auffinden der Basispunkte zu erleichtern, wurden diese wiederum nachgefärbt und deren Koordinaten mit einem kleinen GPS-Gerät immerhin annäherungsweise erfasst (A. Hartmann).

92 Roseg

2002: Viele Eisschollen im Gletschersee (G. Bott).

2003: Grosse, oberflächliche Rinne zwischen Sella- und Roseggletscher entstanden. Neues Gletschertor am linken Zungenrand (G. Bott).

93 Tschierva

2002: Viele Holzfunde (G. Bott).

2003: Neue Messrichtung: 135 ° ab Hilfspunkt (Alt: D0630 m, 80 m links der Achse) (G. Bott).

94 Morteratsch

2002: Holzfund (G. Bott).

2003: Aussergewöhnlicher Schmelzprozess im Trockensommer 2003 mit viel Hochwasser nachmittags (G. Bott).

95 Calderas

2002: Neuer Fixpunkt markiert (blaue Farbe, Felsband links). Rechter Zungenrand stark abgeschmolzen. Fixpunkte: mit GPS Koordinaten eingemessen (G. Bott).

2003: Grosse Bäche am linken und rechten Zungenrand. Messung ab Fixpunkt 02. Felsplatten links und rechts auf ca. 2800 m ü.M. sichtbar (G. Bott).

96 Tiatscha

2002: Die Punkte A, C, E und F wurden in Folge Gletscherabbrüche nicht mehr gemessen. Für nächstes Jahr wird eine andere Methode ins Auge gefasst (M. Stadler).

2003: Der Rückzug bezieht sich auf einen dem Gletscher vorgelagerten Toteisrest. Der aktive Gletscherrand befindet sich oberhalb der Felsstufe und ist nicht (gefahrlos) zugänglich (M. Stadler).

97 Sesvenna

2002: Keine Messung auf Grund des frühen Wintereinbruchs (Woche 39) (G. Feuerstein).

2003: Neue Basislinie. Basispunkte und Zungenpunkte mit GPS vermessen (zusätzlich zu konventioneller Methode) (G. Feuerstein).

98 Lischana

2002: P2: Felsriegel trennt Gletscher – grosser Sprung; P4: Messpunkt und Gletscher eingeschneit (G. Feuerstein).

2003: Basispunkte und Zungenpunkte zusätzlich zur konventionellen Methode mit GPS vermessen (G. Feuerstein).

99 Cambrena

2002: Ricostruito i punti fissi, senza trovare il punto 0 (G. Berchier).

2003: Misurato il ghiacciaio con un giornalista (M. Rohner) e un fotografo (D. Amman). Nessun pericolo particolare (G. Berchier).

100 Palü

2002: La parte inferiore del ghiacciaio è separata. Abbiamo fissato un punto nella parte alta e misurato pure la distanza (G. Berchier).

2003: La parte inferiore del ghiacciaio è separata e non più alimentata in ghiaccio. Ghiaccio morto! La parte alta si trova a 520 m dalla parte inferiore (misura GPS 2002) (G. Berchier).

101 Paradisino (Campo)

2002: Misurato il ghiacciaio con GPS, e calcolata la differenza 2001-2002, sulla base dei ritiri 2001 (G. Berchier).

2003: Ghiacciaio a 8 m da nuovo punto 3 (+170 m). Misurazione difficile: lingua terminale molto stretta. Distanze molto lunghe (G. Berchier).

102 Fomo

2003: Grosser Massenverlust (C. Mengelt).

103 Bresciana

2002: Una sporgenza di roccia orizzontale sta tagliando in due il fronte del ghiacciaio, la parte sottostante si è appiattita dovuta allo strato di ghiacciaio non consistente che si è sciolto, in questa parte del ghiacciaio la regressione è anche di oltre 45 m (C. Valeggia).

2003: Una sporgenza di roccia orizzontale sta tagliando in due il fronte del ghiacciaio, la parte sottostante si è appiattita; in questa parte del C la regressione è di circa 200 m. Ora il ghiacciaio si trova ad una quota di 2900 sopra il livello del mare. La lingua del ghiacciaio si fa più ripida e il suo spessore è molto più consistente. Il rilievo del profilo da una chiara situazione del ghiacciaio con un Arretramento di circa 400 m dal 1988 e una diminuzione dello spessore di Circa 13 m (C. Valeggia).

104 Basodino

2002: Il fronte del ghiacciaio si è appiattito e la regressione è notevole rispetto alle misurazioni dell'anno 2001. Sulla destra della lingua del ghiacciaio s'intravede una sporgenza di roccia-lunga 60 m che dal fronte sale verso il ghiacciaio (C. Valeggia).

2003: Quest'anno abbiamo rilevato il profilo longitudinale della lingua del ghiacciaio e fatto il confronto con le misure dell'anno 2000. La lingua di ghiacciaio si è appiattita notevolmente come pure il suo spessore. Sulla destra della lingua del ghiacciaio s'intravede una sporgenza di roccia lunga 60 m che dal fronte sale verso il ghiacciaio (C. Valeggia).

105 Rossboden

2002: Messpunkte sollten neu gesetzt werden, da Gletschereis wahrscheinlich 100 m weiter oben liegt (Gletschertor). Unten nur noch Endmoräne (F. Pfammatter).

2003: Der Gletscher ist dieses Jahr nicht mehr vermessen worden, da die genaue Lage des Zungenendes nicht ermittelt werden konnte (A. Brigger, F. Pfammatter).

109 Alpetli (Kanderfirn)

2002: Wegen grossem, seitlichem Schwund neue Messeinrichtungen, damit überhaupt noch Gletscher tangiert werden kann. Spitz auslaufendes Gletscherende (U. Fuhrer).

2003: Grosser Massenverlust. Deutlicher Schwund links. Neu: zwei Wandfälle (U. Fuhrer).

111 Ammertén

2002: Eisrand ab P1 wieder frei; die sonn-beschienene Gletscherschwelle ist markant tiefer als 1979, ebenso der Zungenrücken (E. Hodel).

2003: Auffallend der starke Schwund in der Gipfelregion, wohl als Folge der hohen und oft auf 4000 m und höher gelegenen Nullgradgrenze (E. Hodel).

112 Dúngel

2003: Die Gletscherzunge war vollständig ausgeapert und ihr Verlauf somit eindeutig bestimmbar. Die Zunge liegt auf einem Felsbett. Messung: Verlauf der Gletscherzunge sowie 5 Fixpunkte in unmittelbarer Gletschernähe eingemessen (A. Wipf).

113 Gelten

2003: Der Geltengletscher bildet keine typische Zunge aus sondern gleicht eher einem Firnband. Der Gletscher war zur Zeit der Messung stark ausgeapert. Der Verlauf der Gletscherstirn kann auf der Westseite klar erfasst werden, gegen Osten nimmt die Schuttbedeckung stark zu und der Eisrand ist nicht mehr eindeutig bestimmbar (A. Wipf).

114 Plattalva

2002: Messung 2001 durch Schneedecke erschwert (U. Steinegger).

2003: Punkt 1: Neuer Steinmann, seitlich verschoben, 17 m vom Eisrand entfernt errichtet (4500 ‰), da an der bisherigen Lage der Eisrand parallel zur Messrichtung verläuft (U. Steinegger).

115 Scaletta

2002: Gletscherende und Vorfeld ganzer Sommer über tief mit Lawinenschnee zugedeckt. Ab September bereits wieder Neuschnee, Einwinterung. Messung nicht möglich (M. Laternser).

2003: Gletscher vollständig blank, Lawinenrest weit unterhalb dem Gletscher. Moräne Wasser gesättigt (weich), Blöcke kriechen hangabwärts (B. Teufen).

117 Valleggia

2002: 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. Una sporgenza di roccia è apparsa nel centro della lingua del ghiacciaio (C. Valeggia).

2003: 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. Una sporgenza di roccia si trova al centro del ghiacciaio ed è sempre più evidente. Il profilo longitudinale è stato eseguito nella parte centrale del ghiacciaio (C. Valeggia).

118 Val Torta

2002: Il ghiacciaio si è appiattito notevolmente senza avere una coltre di ghiaccio molto consistente ed è in gran parte ricoperto da detriti di roccia. Alcune sporgenze di roccia sono visibili sia nel ghiacciaio, come pure a valle del fronte. Il nevaio che si trova nella conca tra le due morene si è di nuovo riformato (C. Valeggia).

2003: 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 trovava nella conca tra le due morene è scomparso. Il profilo longitudinale è stato eseguito nella parte centrale del ghiacciaio (C. Valeggia).

119 Cavagnoli

2002: Sulla sua sinistra il ghiacciaio termina su una morena di roccia con il pendio verso il fronte del ghiacciaio che lentamente sta scomparendo e il suo spessore non è più consistente. Il fronte del ghiacciaio termina in una zona pianeggiante formando davanti alla lingua un laghetto; le dimensioni di quest'ultimo stanno aumentando. La lingua del ghiacciaio si è appiattita notevolmente (C. Valeggia).

2003: Le dimensioni del laghetto davanti al fronte del ghiacciaio stanno aumentando. Sulla sua sinistra il ghiacciaio termina su una morena di roccia con il pendio verso il fronte del ghiacciaio, lentamente sta scomparendo e il suo spessore non è più consistente. La lingua del ghiacciaio si è appiattita notevolmente. Il rilievo del profilo longitudinale anno 1983, 2000 e

2003, mostra molto bene sia l'arretramento della lingua, come pure il suo spessore (volume) (C. Vallengia).

120 Como

2002: Travandosi questo ghiacciaio su un pendio ripido si nota come la lingua di ghiaccio spinge verso valle, la sua lingua sta appiattendosi. Anche quest'anno abbiamo misurato tutto il fronte del ghiacciaio; sicuramente in un prossimo futuro le misurazioni saranno tra le due sporgenze di roccia. Sopra il ghiacciaio sulla sinistra abbiamo rilevato delle grosse caverne (C. Vallengia).

2003: Anche quest'anno abbiamo misurato tutto il fronte del ghiacciaio sicuramente in un prossimo futuro le misurazioni saranno tra le due sporgenze di roccia. La vera lingua del ghiacciaio si trova tra due rocce. Una morena si sta formando sopra la roccia di destra e dividerà il ghiacciaio in due parti. La parte destra del ghiacciaio non è più voluminosa e anche la lingua si è appiattita. In questa parte il ghiacciaio è arretrato di circa 50 m. Il profilo longitudinale è stato eseguito nella parte centrale del ghiacciaio (C. Vallengia).

352 Crosolina

2002: La lingua del ghiacciaio si trova sopra il nevaio ed il laghetto su roccia sia lateralmente come pure davanti al fronte. La regressione è minima, dovuto alla lingua di ghiaccio consistente e voluminosa. Le poche precipitazioni nevose durante l'inverno scorso e le temperature miti hanno riformato il laghetto, l'anno scorso ricoperto da una coltre di neve (C. Vallengia).

2003: La lingua del ghiacciaio si trova sopra il laghetto, con roccia sia lateralmente come pure davanti al fronte. Le poche precipitazioni nevose durante l'inverno e il clima estivo con temperature elevate hanno riformato il laghetto. Il profilo longitudinale è stato eseguito nella parte centrale del ghiacciaio (C. Vallengia).

II Investigators of the individual Glaciers (2003)

Length Variations

Glacier	No.	Investigator	Glacier	No.	Investigator
Albigna	116	currently not observed	Grand Plan Névé	45	J.-Ph. Marlétaz
Allalin	11	VAW/ETHZ, Hermann Bösch	Gries	3	VAW/ETHZ, Andreas Bauder
Alpetli	109	Ueli Fuhrer	Griess	74	Beat Annen
Ammerten	111	Erwin Hodel	Griessen	76	Werner Bissig
Arolla	27	Frédéric Pralong	Grosser Aletsch	5	VAW/ETHZ, Andreas Bauder
Basòdino	104	Claudio Valeggia	Hüfi	73	Anton Arnold
Bella Tola	21	Peter Tscherrig	Kaltwasser	7	Martin Schmidhalter
Biferten	77	Hanspeter Klausner	Kehlen	68	Martin Planzer
Bis	107	currently not observed	Kessjen	12	VAW/ETHZ, Hermann Bösch
Blümlisalp	64	Ueli Fuhrer	Lämmern	63	Ulrich Vogt
Boveyre	41	Olivier Guex	Lang	18	Hans Henzen
Breney	36	Jean-Jacques Chabloz	Lavaz	82	Urban Maissen
Bresciana	103	Claudio Valeggia	Lenta	84	Bernard Riedi
Brunegg	20	Peter Tscherrig	Limmern	78	Urs Steinegger
Brunni	72	Jann Marx	Lischana	98	Gian Cla Feuerstein
Calderas	95	Giachem Bott	Lötschberg	110	currently not observed
Cambrena	99	Gilbert Berchier	Martinetts	46	currently not observed
Cavagnoli	119	Claudio Valeggia	Mittelaletsch	106	currently not observed
Cheillon	29	Stéphane Seppey	Moiry	24	Marcel Barmaz
Corbassière	38	VAW/ETHZ, Andreas Bauder	Moming	23	Marcel Barmaz
Corno	120	Claudio Valeggia	Mont Durand	35	Jean-Jacques Chabloz
Croslina	121	Claudio Valeggia	Mont Fort	32	François Vouillamoz
Damma	70	Martin Planzer	Mont Miné	26	Frédéric Pralong
Dungel	112	Andreas Wipf	Morteratsch	94	Giachem Bott
Eiger	59	Rudolf Zumstein	Mutt	2	Ueli Wittdorf
En Darrey	30	Stéphane Seppey	Ob. Grindelwald	57	Hans Boss
Fee	13	Urs Andenmatten	Oberaar	50	Flotron AG
Ferpècle	25	Frédéric Pralong	Oberaletsch	6	Christian Theler
Fiescher	4	Peter Aschilier	Ofental	9	currently not observed
Findelen	16	VAW/ETHZ, Andreas Bauder	Orny	108	currently not observed
Firnalpe	75	Sepp Hess	Otemma	34	Jean-Jacques Chabloz
Forno	102	Curdin Mengelt	Palü	100	Gilbert Berchier
Gamchi	61	Roland Descloux	Paneyrosse	44	J.-Ph. Marlétaz
Gauli	52	Rudolf Straub	Paradies	86	Oskar Hugentobler
Gelten	113	Andreas Wipf	Paradisino	101	Gilbert Berchier
Giétro	37	VAW/ETHZ, Andreas Bauder	Pierredar	49	currently not observed
Glärnisch	80	Hanspeter Klausner	Pizol	81	Arnold Hartmann
Gorner	14	Leo Jörgler / Stefan Walther	Plattalva	114	Urs Steinegger
Grand Désert	31	François Vouillamoz	Porchabella	88	Christian Barandun

Mass Balance and Velocities

Glacier	No.	Investigator	Glacier	No.	Investigator
Prapio	48	Jacques Binggeli	Basòdino	104	Giovanni Kappenberger
Punteglias	83	Maurus Frei	Clariden	141	Giovanni Kappenberger
Rätzli	65	Christian von Grünigen	Corbassière	38	VAW/ETHZ Andreas Bauder
Rhone	1	VAW/ETHZ, Andreas Bauder	Giétro	37	VAW/ETHZ Andreas Bauder
Ried	17	Peter Rovina	Gries	3	VAW/ETHZ Martin Funk
Roseg	92	Giachem Bott	Oberaar	50	Flotron AG
Rosenlauri	56	currently not observed	Silvretta	90	VAW/ETHZ Andreas Bauder
Rossboden	105	Ferdinand Pfammatter	Unteraar	51	Flotron
Rotfirn	69	Martin Planzer			
Saleina	42	Olivier Guex			
Sankt Anna	67	Jann Marx			
Sardona	91	Arnold Hartmann			
Scaletta	115	Bernardo Teufen			
Schwarz	62	Ulrich Vogt			
Schwarzberg	10	VAW/ETHZ, Hermann Bösch			
Sesvenna	97	Gian Cla Feuerstein			
Sex Rouge	47	Jacques Binggeli			
Silvretta	90	VAW/ETHZ, Andreas Bauder			
Stein	53	Rudolf Straub			
Steinlimmi	54	Rudolf Straub			
Sulz	79	Thomas Rageth			
Suretta	87	Oskar Hugentobler			
Tälliboden	8	currently not observed			
Tiatscha	96	Markus Stadler			
Tiefen	66	Jann Marx			
Trient	43	Jacques Ehinger			
Trift (Gadmen)	55	VAW/ETHZ, Andreas Bauder			
Tsanfleuron	33	Jean-Daniel Brodard			
Tschierva	93	Giachem Bott			
Tschingel	60	Rudolf Zumstein			
Tseudet	40	Oliver 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	Michael Maikoff			
Vorab	85	Reto Hefti			
Wallenbur	71	Pius Kläger			
Zinal	22	Marcel Barmaz			
Zmutt	15	currently not observed			