

# The Swiss Glaciers

**1995/96 and 1996/97**

Glaciological Report No. 117/118

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

Edited by

Evelyne Ruth Herren<sup>1</sup>

Martin Hoelzle<sup>2</sup>

Max Maisch<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bremgarten (AG)

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

<sup>3</sup>Physical Geography  
Department of Geography  
University of Zurich

1999

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

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

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

© Glaciological Commission SAS 1999

ISSN 1423-2820

Printed by

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

*Cover Page: The glacier de Valsorey, one of the most southerly located glaciers in this network, has been under observation since 1889. Its original length of approx. 4.5 km has been diminished by almost 800 m. (Photo: A. Wipf)*

# Preface

Over 100 years ago, when the systematic observation of glaciers officially began and was coordinated, both nationally and internationally, by the Swiss scientist F. A. Forel, the primary goal of this task was to describe and explain fluctuations of the glaciers [Forel, 1895]. Since then there has been a vast improvement in the knowledge about glaciers as a result of research work in this field, including the intensive observation of glaciers. The question now arises as to the current aims of glacier observation, and it is one that must be repeatedly posed anew, particularly with regard to long-term observations. Here are some possible answers:

- to further improve the knowledge of glacier processes,
- to validate the models (e.g., regional climate models),
- to analyze the glaciers as a climate indicators, i.e., to assess the speed of change and the corresponding energy flux, the natural, pre-industrial variability, or noticeable acceleration trends,
- to assess the direct and indirect effects of glacier changes on the environment (e.g., glacier hazards, rise in sea level).

These aims apply not only to international observations, but also to the national measurement network. Switzerland has a glacier length change data set extending back to 1880 which is unique in the world. We owe this to the broad vision of the initiators, in particular F.A. Forel once again, but also to their successors, including those carrying out observations at the glacier terminus. These are the people acquiring the basic data under at some times difficult, at other times agreeable, conditions.

A century-old measurement series is also subject to updating and changes, and this includes a change made at the start of 1996 at the Glaciological Commission, namely that not only the glaciers, but also the ice in general, will in future be treated in all their naturally occurring forms. This means, in effect, that the Glaciological Commission will focus more and more on the broader subject of snow and permafrost. In Chapter 6 of this report a permafrost project in Engadine will be presented. Borehole temperature measurements will be part of a long-term permafrost observation.

The present report is based on two short annual reports published in the magazine "The Alps" of the Swiss Alpine Club [Hoelzle and Vonder Mühl, 1997 and Hoelzle et al., 1998].

## 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 - 15	1880 - 1894
F.A. Forel et L. Du Pasquier	16 - 17	1895 - 1896
F.A. Forel, M. Lugeon et E. Muret	18 - 27	1897 - 1906
F.A. Forel, E. Muret, P.L. Mercanton et E. Argand	28	1907
F.A. Forel, E. Muret et P.L. Mercanton	29 - 32	1908 - 1911
E. Muret et P.L. Mercanton	33 - 34	1912 - 1913
P.L. Mercanton	35 - 70	1914 - 1949
P.L. Mercanton et A. Renaud	71 - 75	1950 - 1954
A. Renaud	76 - 83	1955 - 1961/62
P. Kasser	84 - 91	1962/63 - 1969/70
P. Kasser und M. Aellen	92 - 104	1970/71 - 1982/83
M. Aellen	105 - 115	1983/84 - 1993/94
M. Aellen, M. Hoelzle und D. Vonder Mühl	116	1994/95
M. Hoelzle und D. Vonder Mühl	117	1995/96
M. Hoelzle, D. Vonder Mühl, A. Bauder und G.H. Gudmundsson	118	1996/97
M. Hoelzle, D. Vonder Mühl und M. Maisch	119	1997/98

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 - 117/118	1993/94 - 1996/97

# Contents

<b>Preface</b> .....	<b>III</b>
<b>Published Reports</b> .....	<b>IV</b>
<b>1. Weather and Climate</b> .....	<b>1</b>
1.1 Weather and Climate in 1995/96 .....	1
1.2 Weather and Climate in 1996/97 .....	2
1.3 Climate in 1995/96 and in 1996/97, Summary Deviation from the mean value 1901-1960 .....	6
<b>2. Length Variations</b> .....	<b>7</b>
2.1 Length Variations in 1995/96 .....	7
2.2 Length Variations in 1996/97 .....	7
2.3 Length variations in 1995/96 and in 1996/97, Summary .....	9
2.4 Length variations - Statistics for 1880-1997 .....	16
2.5 Glacier observation network .....	22
<b>3. Mass Balance</b> .....	<b>23</b>
3.1 Introduction, cumulative specific net balances .....	23
3.2 Mass Balance in 1995/96 .....	26
3.3 Mass Balance in 1996/97 .....	27
3.4 Summary Tables .....	27
3.5 Griesgletscher (Aegina) .....	30
3.6 Silvrettagletscher .....	32
3.7 Ghiacciaio del Basodino (Ticino) .....	34
<b>4. Velocity of Some Specific Glaciers</b> .....	<b>35</b>
4.1 Introduction .....	35
4.2 Aare glaciers .....	35
4.3 Glacier de Giétro .....	40
4.4 Glacier de Corbassière .....	42
<b>5. Snow and Firn Accumulation</b> .....	<b>43</b>
5.1 Claridengletscher .....	43

<b>6. Selected glaciological research project</b> .....	<b>45</b>
6.1 Looking back on 10 Years of Permafrost Research at Piz Corvatsch .....	45
6.2 Glaciological Research on the Unteraargletscher.....	49
<b>References</b> .....	<b>55</b>
<b>Acknowledgement</b> .....	<b>59</b>
<b>Appendix</b> .....	<b>61</b>
I. Remarks on individual glaciers (in German, French or Italian) .....	61
II. Investigators of the individual glaciers .....	81

# 1 Weather and Climate

## 1.1 Weather and Climate in 1995/96

Both the weather and the climate data are taken from reports by the Swiss Meteorological Institute [SMA, 1995-97a-d].

### Weather

When compared with the 1961 to 1990 period, the year 1996 was warmer than normal, worldwide, by 0.22°C. However, the deviation from the norm is almost twice as great for the year 1995, namely 0.38°C. The source of the smaller surplus, particularly over Eurasia, can be found mainly in a distinctive displacement of the atmospheric circulation pattern. The ozone hole over the Antarctic was as prominent as in the previous years. Precipitation was well above average, on a global level, and even tornado activity was above the norm as during the previous year [WMO, 1995, 1997]. By contrast, weather conditions were average in Switzerland in 1996. There were only a few extreme weather events to report, as seen in the statistics on adverse weather conditions [Röthlisberger, 1997]: 30 such events caused damages costing a mere 30 million Swiss francs (average for 1972 to 1996: 183 million Swiss francs). Only very minor temperature surpluses were recorded, in contrast to the previous years, which were very warm. The amount of precipitation was average in most places. The monthly reports of the Swiss Meteorological Institute [SMA, 1995-97a] give the main weather features in point form as follows:

### 1995

October	Unusually mild, very dry and sunny
November	Wide variations in temperature, mostly dry and sunny
December	Turbulent weather conditions in last third of month
Year overall	Extremely warm in the lowlands, wet in the north, dry in the south, and normally sunny conditions all over.

### 1996

January	Grey at low altitudes, blue higher up, too wet in the south and too dry in the north
February	Wintry, then springlike at the end, dry in the south
March	Waiting for the spring and for rain
April	Arrival of spring, prolonged dry period
May	Unstable and wet
June	Midsummer-like heat followed by snow down to 1500 meters during the final third of the month
July	Rainy and cool start, followed by plenty of sun but not hot
August	Early finish to an average summer
September	Early autumn with temperatures well below average
Year overall	The coldest year for a long time in many regions

### **Temperature**

The year under report, 1995-96, began with the warmest October of this century. In the Rhone valley, the Magadino Plain and in the Upper Engadin, heat surpluses of up to 1.4°C were recorded in 1996. In the northern regions, it was the coldest year since 1987. The months of October, January, April and June were clearly warmer than normal. By contrast, the months of February, March and particularly September (in many places the coldest since 1931) reported very low temperatures. The monthly averages deviated from the long-term mean by as much as 2.5°C. Precipitation figures remained within the norm. In the last quarter of 1995 conditions were dry for the most part until before Christmas. Nevertheless, in December precipitation was generally above average, except in the Grisons and in the Central Alps, where hardly any precipitation was recorded in certain areas. Even the start of the new year was marked by a continued, in some places, pronounced dryness. January was especially unusual in that it was the driest on record for this century in the lower alpine regions, yet south of the Alps, precipitation fell at a rate 4.8 times greater than normal. June and September were too dry, while the months of May, July and September were far too wet by comparison.

The hours of sunshine recorded matched the long-term mean in almost every area.

### **Climate**

Precipitation (in winter) and summer temperatures are the two main factors responsible for the growing or melting of glaciers. Figure 1.1a shows the deviation in percentage form from the annual precipitation (October 1995 to September 1996), and Figure 1.1b shows the absolute deviation of the summer temperatures (May to September) from the so-called "norm" (mean value for the period of 1901-60). In terms of weather, the year under observation can be described as average in most places. In the regions to the south of the main alpine ridge, especially the Matter valley, southern Ticino and the Bernina group, precipitations amounts that were clearly below average were recorded during this year, already characterized as being dry. In the Rhone valley (Valais), southern Ticino and the St. Gall region of eastern Switzerland, greater positive temperature deviations were recorded.

## **1.2 Weather and Climate in 1996/97**

The year 1997 was the warmest year on record, according to the World Meteorological Organization/WMO. Temperature surpluses were recorded for every year from 1979 onward. In Switzerland, 1997 was one of the four warmest years of the century. The hydrological year (October 1996 to September 1997) started wet and cloudy. The first big snowfall in the mountains occurred already in the second half of November. "Siberian" temperatures were recorded during the Christmas holidays. Afterwards the weather was generally mild and sunny until May 1997, with the exception of February. June and July were variable and cool, with the result that summer did not truly arrive until August/September. This period of good weather was, however, accompanied by heavy storm conditions in the areas of Schwarzsee and Sachseln in central Switzerland. Main weather features gathered from the SMI [SMA, 1995-97a] monthly reports from October 1996 to September 1997:



**1996**

October	Extremely variable, somewhat too warm, much too wet, and cloudy
November	Very wet, cloudy and large amount of snowfall in the mountains
December	Ice-cold conditions between Christmas and New Year
Year overall	The coldest year for a long time in many regions

**1997**

January	Almost one hundred times more sunshine on Corvatsch than in Neuchâtel
February	Sunny, very mild, abundant precipitation on the north side of the Alps
March	Extremely mild again, and very dry in the south
April	Very sunny, a lot of frost in the north, and forest fires in the south
May	Variable at the start, then sunny and low precipitation at the end of the month
June	Increasingly variable, cool and wet, especially in the south
July	Short summery periods only
August	Midsummer conditions, with storms in regions of Schwarzsee and Sachseln
September	Hiking weather
Year overall	Exceptionally warm, very sunny and generally low amounts of precipitation

**Temperature**

Most months were abnormally warm, with the greatest temperature surpluses in November, February, March, August and September. Only the months of January, June and July were somewhat too cool. Figure 1.2b shows that all of the SMI weather stations recorded above normal temperatures in May and September. The summer in particular (May to September) was abnormally warm in all of Switzerland, by up to 2°C. In mountainous regions the surplus varied between 0.5° and 1.0°C.

**Precipitation**

When compared with the long-term mean values, 1997 was too dry by about 10 to 20%. It is also clear that individual heavy rainfalls and lengthy dry periods are not easily discernible in the statistics on yearly amounts because they cancel each other out. This is especially true in the case of Ticino: within the time span of the hydrological year, these deficits were almost completely compensated for by the wet months of October and November. June and July were also extremely wet, as were December and February in some places. Very little precipitation fell in January and August, as well as in February and March in southern Switzerland. Figure 1.2a demonstrates that the 1996-97 hydrological year was an average one. Deviation values of over 20% occurred only in certain places.

**Sunshine duration**

With the exception of June and July when the weather was very poor, sunshine duration was longer than average. Taken over the entire year, this led to a surplus of up to 20%.

THE SWISS GLACIERS 1995/96 AND 1996/97

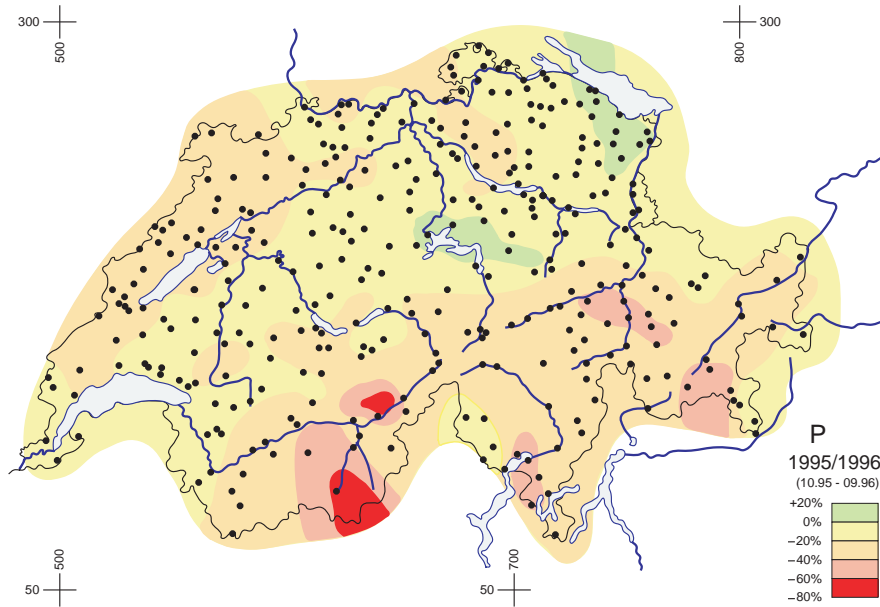


Figure 1.1a: Annual precipitation 1995/96 - Deviation from the mean value 1901-1960. Deviation in percentage.

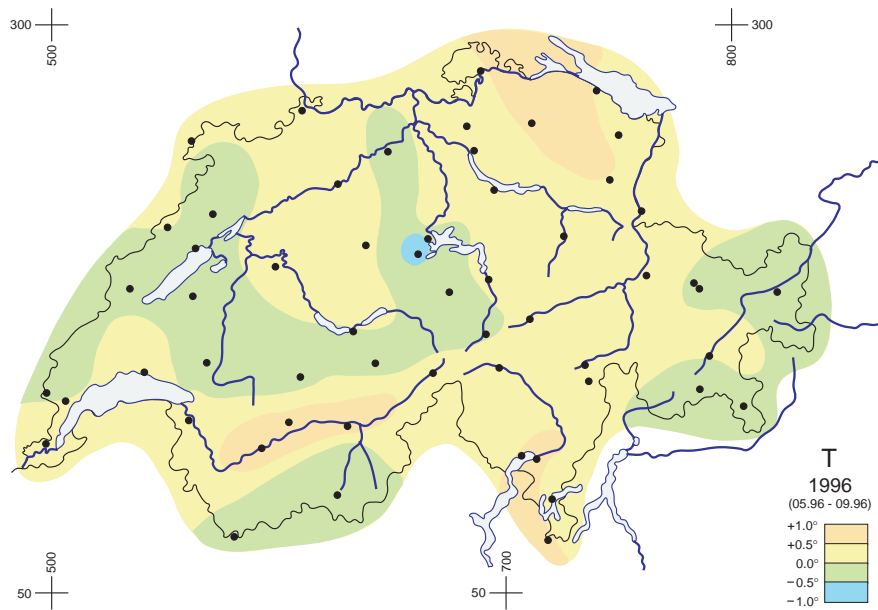


Figure 1.1b: Mean summer air temperatures 1996 - Deviation from the mean value 1901-1960. Deviation in degree Celcius.

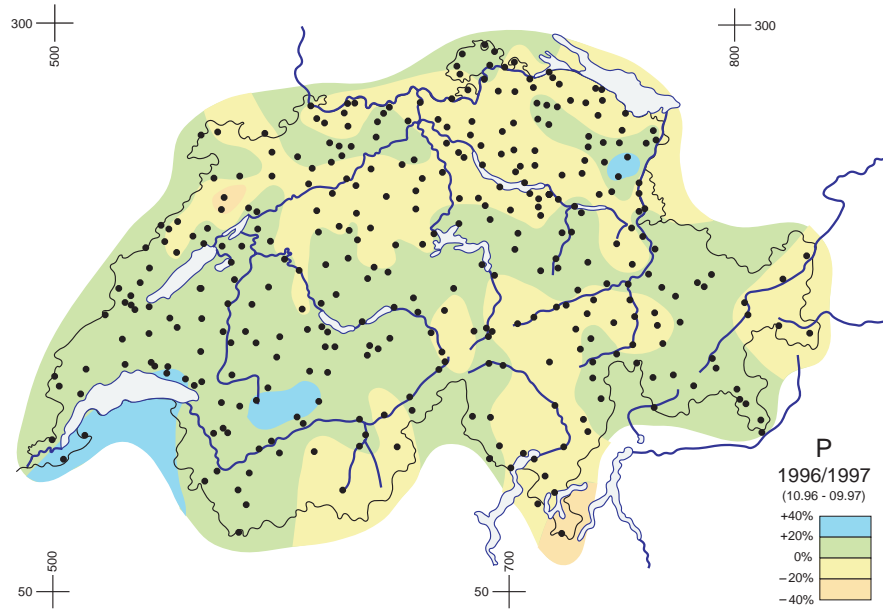


Figure 1.2a: Annual precipitation 1996/97 - Deviation from the mean value 1901-1960. Deviation in percentage.

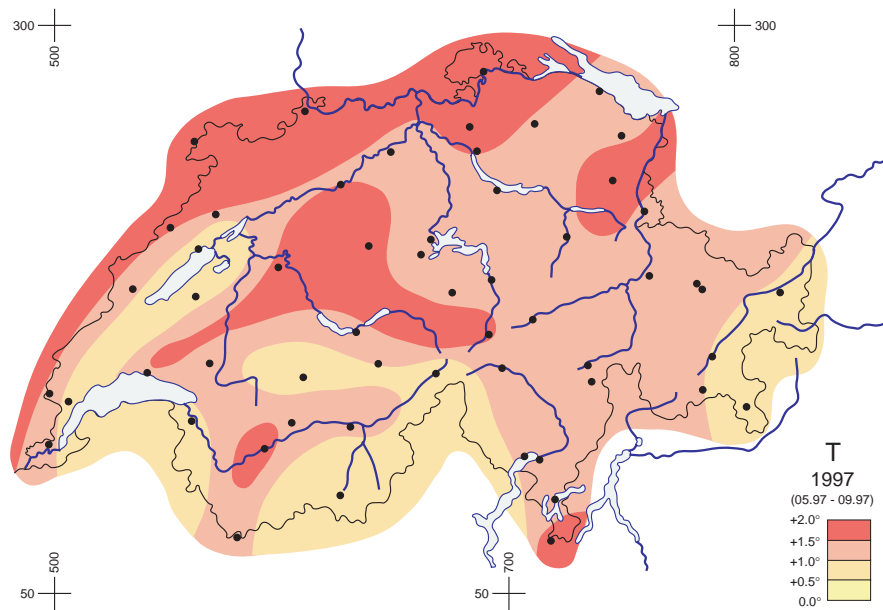


Figure 1.2b: Mean summer air temperatures 1997 - Deviation from the mean value 1901-1960. Deviation in degree Celcius.

### **1.3 Climate in 1995/96 and in 1996/97, Summary Deviation from the mean value 1901-1960**

The regional differences in the important climatic elements for the mass balance of the glaciers are illustrated in the Figures 1.1 and 1.2 (preceding pages) on the basis of the annual precipitation and the summer air temperatures [SMA, 1995-97<sub>c+d</sub>].

## 2 Length Variations

### 2.1 Length Variations in 1995/96

Within the Swiss glacier observation network, which at present includes 121 items, there are glaciers to be found of almost every size and in the most widely varying local-climate regions. In 1996, due to difficult conditions during the measurement season, the length variations were determined for only 91 glaciers. Over the past 30 years it occurred only on three occasions, namely in 1974, 1984, and 1993, that fewer glacier tongues were observed. Of these 91 glaciers being monitored for length, 75 have melted back and only 5 were advancing. Eleven glaciers remain unchanged, meaning that the glacier tongue displaced itself by 1 m at the most (see Figure 2.3a). The glacier de Mont Miné retreated the most, at - 98 m, in direct contrast to the Turtmannletscher, which advanced by + 55 m. The ongoing glacial retreat observed in the past years continued during the 1995/96 measurement period. This is not so astonishing in the sense that glacier length is affected by climatic changes with a delay which is, in some cases, substantial. Big glaciers in particular, because of their sluggish response and adaptation, take a very long time before they begin to respond to a long-term climatic signal with an advance or retreat of the glacier tongue.

### 2.2 Length Variations in 1996/97

Thanks to the favourable weather conditions in the autumn of 1997, it was possible to measure 102 glaciers and evaluate the changes in their length. In recent years it has been very rare to be able to gather so many measurement values. The analysis of these data show that 86 glaciers retreated and 6 advanced, while the remaining 10 glaciers were unchanged. The glacier de Tsidjiore Nouve above Arolla (Valais) provided the negative record with a retreat of - 108 m. By way of contrast, the Bella Tola Gletscher, located also in Valais and only 30 km from Arolla, advanced the most, at + 26 m. The general receding tendency as observed since the mid-1980s continued during this year as well, which is not surprising, as glacier tongues generally have a delayed respond to climatic change which in some cases is considerable. The reaction time of the glacier to climatic change depends very much on its geometry, particularly its length and slope. In order to clarify and illustrate this effect, various glaciers have been classified according to their length (chapter 2.4, Figures 2.2 and 2.3a-d).

THE SWISS GLACIERS 1995/96 AND 1996/97



*Photo 2.1:*

*In 1894 when glacier measurements in Val Roseg were begun, Vadret da Roseg and Tschierva formed one glacier tongue. In the meantime, the Roseg (out of the picture to the right) has retreated by almost 2 km. Due to glacier retreat a lake formed in its pro-glacial area, which burst out in 1954. In the year 1934 the glacier split, with the second section being named Vadret da Tschierva (center of the photo). On the western face of the Piz Morteratsch, a 300,000 m<sup>3</sup> rock slide occurred at 3200 m a.s.l in 1988, and the material was deposited on the right side of the glacier.*

*(Photo: A. Wipf)*

### 2.3 Length variations in 1995/96 and in 1996/97, Summary

Table 2.1: Length variations in 1995/96 and in 1996/97

No. <sup>a</sup>	Glacier	Ct. <sup>b</sup>	Length variation <sup>c</sup> [m]		Altitude <sup>d</sup> [m a.s.l.]	Date of measurement [Day, Month]		
			1995/96	1996/97		1995	1996	1997
<b>Catchment area of the Rhone (II)</b>								
1 <sup>e,f</sup>	Rhone	VS	- 9	- 18	2177	11.10.	23.10.	19.09.
2	Mutt	VS	sn	n	2577.2 <sup>95</sup>	n	13.10.	n
3 <sup>e</sup>	Gries	VS	- 12	- 10.4	2385	16.10.	30.09.	17.09.
4 <sup>e,f</sup>	Fiescher	VS	- 7.4	- 13.2	1677	9.12.	9.10.	5.10.
5 <sup>e,f</sup>	Grosser Aletsch	VS	- 30	- 43	1562	2.10.	23.10.	15.09.
106	Mittelaletsch	VS	- x	- 29 <sup>5a</sup>	2294	2.10.	16.08.	2.11.
6 <sup>e</sup>	Oberaletsch	VS	n	- 25 <sup>7a</sup>	2142	n	n	4.11.
7 <sup>e,f</sup>	Kaltwasser	VS	+ 0.5	+ 14.3	2660 <sup>92</sup>	22.09.	20.09.	29.09.
8	Tälliboden	VS	sn	n	2631.0 <sup>95</sup>	12.10.	30.09.	n
9	Ofental	VS	sn	n	2692.6	12.10.	30.09.	n
10 <sup>e</sup>	Schwarzberg	VS	- 5	- 12	2655	16.10.	30.09.	10.10.
11 <sup>f</sup>	Allalin	VS	- 36	- 6	2338	16.10.	30.09.	10.09.
12	Kessjen	VS	sn	n	2871.6 <sup>95</sup>	16.10.	30.09.	n
13 <sup>e,f</sup>	Fee (Nord)	VS	- 27.4	- 25.3	1931	24.10.	6.11.	17.09.
14 <sup>e,f</sup>	Gorner	VS	- 10	- 30.5	2145	9.11.	5.11.	23.09.
15	Zmutt	VS	+ 1	0	2235	12.10.	18.09.	10.09.
16 <sup>e</sup>	Findelen	VS	- 72	n	2491 <sup>96</sup>	7.10.	30.09.	n
107	Bis	VS	- x	n		13.10.	30.09.	n
17 <sup>e</sup>	Ried	VS	- 58.8 <sup>4a</sup>	- 14.7	2061	n	19.09.	10.09.
18 <sup>f</sup>	Lang	VS	- 15	- 35	2040	26.10.	13.11.	30.10.
19 <sup>e,f</sup>	Turtmann	VS	+ 54.6	- 83.9	2262	10.10.	2.10.	4.10.
20	Brunegg (Turtmann Ost)	VS	- 14.1	- 5.5	2462	10.10.	2.10.	4.10.
21 <sup>e</sup>	Bella Tola	VS	- 9.2	+ 26		9.10.	1.10.	5.10.
22 <sup>f</sup>	Zinal	VS	- 18	- 14	2035	8.10.	14.10.	20.09.
23	Moming	VS	- 30	- 36	2423	8.10.	14.10.	20.09.
24 <sup>e</sup>	Moiry	VS	- 1	- 5	2330	19.10.	23.10.	20.09.
25 <sup>e,f</sup>	Ferpècle	VS	- 2	- 10	2095 <sup>83</sup>	14.10.	26.10.	27.09.
26	Mont Miné	VS	- 98	- 7	1963 <sup>83</sup>	14.10.	26.10.	27.09.
27 <sup>f</sup>	Arolla (Mont Collon)	VS	- 16	- 7	2135 <sup>83</sup>	14.10.	26.10.	27.09.
28 <sup>f</sup>	Tsidjiore Nouve	VS	- 1	-108	2205 <sup>83</sup>	14.10.	26.10.	27.09.

THE SWISS GLACIERS 1995/96 AND 1996/97

No. <sup>a</sup>	Glacier	Ct. <sup>b</sup>	Length variation <sup>c</sup>		Altitude <sup>d</sup> [m a.s.l.]	Date of measurement [Day, Month]		
			1995/96	1996/97		1995	1996	1997
29 <sup>e</sup>	Cheillon	VS	- 3.5	- 17	2640	4.10.	25.10.	29.10.
30 <sup>e</sup>	En Darrey	VS	- 1	+ 15	2430	4.10.	25.10.	29.10.
31 <sup>e</sup>	Grand Désert	VS	0	- 0.6	2760 <sup>92</sup>	7.10.	13.10.	20.09.
32 <sup>e</sup>	Mont Fort (Tortin)	VS	sn	- 20.5 <sup>2a</sup>	2780 <sup>92</sup>	15.10.	15.10.	21.09.
33 <sup>e,f</sup>	Tsanfleuron	VS	- 8	- 5	2417 <sup>69</sup>	11.10.	31.10.	18.09.
34 <sup>e</sup>	Otemma	VS	- 69.9	- 44.4	2460	9.10.	13.10.	4.10.
35 <sup>e</sup>	Mont Durand	VS	- 0.3	- 3.2	2340	7.10.	13.10.	21.09.
36 <sup>e</sup>	Breney	VS	- 19.9	- 27.1	2575	8.10.	7.10.	22.09.
37 <sup>e</sup>	Giétro	VS	- 50.4 <sup>6a</sup>	- 7.5	2500 <sup>95</sup>	7.10.	30.09.	15.09.
38 <sup>e</sup>	Corbassière	VS	38 <sup>3a</sup>	- 12	2175	7.10.	12.09.	17.09.
39 <sup>f</sup>	Valsorey	VS	n	- 31 <sup>2a</sup>	2395	24.10.	n	4.11.
40	Tseudet	VS	n	- 53 <sup>2a</sup>	2453	24.10.	n	4.11.
41	Boveyre	VS	- 7.0 <sup>2a</sup>	n	2612	11.10.	30.09.	n
42 <sup>f</sup>	Saleina	VS	n	- 79.1 <sup>2a</sup>	1726	14.10.	n	19.10.
108	Orny	VS	n	n		8.10.	n	n
43 <sup>e,f</sup>	Trient	VS	- 21	- 50	1769	11.10.	31.08.	15.10.
44	Paneyrosse	VD	- 7.0	- 1.9		20.10.	14.10.	16.09.
45 <sup>e,f</sup>	Grand Plan Névé	VD	- 3.3	- 6.2		3.10.	14.10.	16.09.
46	Martinets	VD	n	n		n	n	n
47 <sup>e</sup>	Sex Rouge	VD	n	n		29.07.	n	n
48 <sup>e</sup>	Prapio	VD	n	st <sup>2a</sup>		17.09.	n	20.08.
49	Pierredar	VD	n	n		11.10.	n	n
<b>Catchment area of the Aare (Ia):</b>								
50 <sup>e</sup>	Oberaar	BE	- 0.9	- 5.4	2300.2	7.10.	23.08.	15.08.
51 <sup>f</sup>	Unteraar	BE	- 27.6	- 30.8	1930	7.10.	23.08.	15.08.
52	Gauli	BE	- 14	- 6	2140	11.10.	11.10.	28.09.
53 <sup>e,f</sup>	Stein	BE	- 6	- 11	1934	2.10.	3.10.	25.09.
54 <sup>e</sup>	Steinlimmi	BE	- 18	- 9	2095	2.10.	3.10.	25.09.
55	Trift (Gadmen)	BE	n	n	1670 <sup>80</sup>	13.10.	n	n
56	Rosenloui	BE	- x	n	1860 <sup>95</sup>	10.10.	23.10.	n
57 <sup>e,f</sup>	Oberer Grindelwald	BE	- 70	- 10		21.10.	16.08.	25.10.
58 <sup>e,f</sup>	Unterer Grindelwald	BE	- x	- x		21.10.	23.10.	26.10.
59 <sup>e</sup>	Eiger	BE	- 19.8	- 13.4	2185	11.09.	26.09.	17.09.



## 2. LENGTH VARIATIONS

No. <sup>a</sup>	Glacier	Ct. <sup>b</sup>	Length variation <sup>c</sup>		Altitude <sup>d</sup> [m a.s.l.]	Date of measurement [Day, Month]		
			1995/96	1996/97		1995	1996	1997
60 <sup>e</sup>	Tschingel	BE	- 6.1	- 3	2270	12.09.	27.09.	18.09.
61 <sup>f</sup>	Gamchi	BE	- 3.3	- 4.7	1990	5.10.	28.09.	5.09.
109 <sup>e</sup>	Alpetli	BE	- 6.6	- 6.5	2250	22.09.	18.09.	9.09.
110	Lötschberg	BE	n	n		n	n	n
62 <sup>e</sup>	Schwarz	VS	- 6.0	- 1	2250	15.09.	13.09.	19.09.
63 <sup>e</sup>	Lämmern	VS	- 29.6	- 9	2540	14.09.	14.09.	20.09.
64 <sup>e,f</sup>	Blümlisalp	BE	- 17.8	- 11	2250	12.09.	21.09.	10.09.
111 <sup>e</sup>	Ammerten	BE	- 0.5	- 1.8	2350 ca.	9.10.	13.10.	5.09.
65	Rätzli	BE	n	- 5 <sup>2a</sup>	2430	9.10.	n	19.09.
112	Dungel	BE	n	n		n	n	n
113	Gelten	BE	n	n		n	n	n
<b>Catchment area of the Reuss (Ib):</b>								
66 <sup>e</sup>	Tiefen	UR	- 14.2	- 10.6	2520	10.10.	30.09.	1.10.
67 <sup>e</sup>	Sankt Anna	UR	n	- 2.8 <sup>2a</sup>	2580 <sup>91</sup>	10.10.	n	11.09.
68 <sup>e,f</sup>	Kehlen	UR	- 23.8	- 28.6	2078 <sup>89</sup>	13.10.	4.10.	6.10.
69	Rotfirn (Nord)	UR	+ 0.8	- 6.9	2030	13.10.	4.10.	6.10.
70 <sup>e</sup>	Damma	UR	- 5.9	- 9.3	2044 <sup>64</sup>	13.10.	4.10.	6.10.
71 <sup>e,f</sup>	Wallenbur	UR	- 12.5	+ 0.4	2243	9.10.	4.10.	18.09.
72 <sup>e,f</sup>	Brunni	UR	n	- 8.7 <sup>7a</sup>		n	n	17.09.
73 <sup>e,f</sup>	Hüfi	UR	- 11.2	- 24.3	1640		5.10.	5.11.
74 <sup>e</sup>	Griess	UR	- 8.2	- 5.5	2220	2.10.	4.10.	11.09.
75 <sup>e</sup>	Firnalmeli (Ost)	OW	n	- 17 <sup>2a</sup>	2180	11.10.	n	27.09.
76 <sup>e</sup>	Griessen	OW	n	- 1 <sup>2a</sup>	2510	10.10.	n	19.09.
<b>Catchment area of the Linth / Limmat (Ic):</b>								
77 <sup>e</sup>	Biferten	GL	- 6.5	- 7.6	1923	7.10.	12.10.	4.10.
78 <sup>e</sup>	Limmern	GL	- 4.5	- 0.4	2270	23.09.	19.10.	4.10.
114 <sup>e</sup>	Plattalva	GL	- 1.2	- 1.6	2565	23.09.	20.10.	23.09.
79 <sup>e</sup>	Sulz	GL	- 2.5	- 1.5	1789	17.10.	7.11.	19.09.
80 <sup>e</sup>	Glärnisch	GL	+ 1.4	- 2	2292	14.10.	27.10.	23.08.
81 <sup>e,f</sup>	Pizol	SG	+ 31.6 <sup>2a</sup>	- 17.1	2600 <sup>94</sup>	18.10.	9.09.	30.09.

THE SWISS GLACIERS 1995/96 AND 1996/97

No. <sup>a</sup>	Glacier	Ct. <sup>b</sup>	Length variation <sup>c</sup>		Altitude <sup>d</sup> [m a.s.l.]	Date of measurement [Day, Month]		
			1995/96	1996/97		1997	1995	1996
<b>Catchment area of the Rhine / Lake Constance (Id):</b>								
82	Lavaz	GR	n	n	2280 <sup>93</sup>	26.10.	n	n
83 <sup>e,f</sup>	Punteglias	GR	- 5.9	- 2	2360	17.10.	3.11.	30.10.
84 <sup>e,f</sup>	Lenta	GR	- 19.5	- 21.7	2315	18.10.	25.09.	25.09.
85 <sup>e</sup>	Vorab	GR	- 21.9 <sup>2a</sup>	- 9.8		n	20.08.	26.09.
86 <sup>e,f</sup>	Paradies	GR	- 12.4	- 11.2	2693	5.09.	9.09.	10.09.
87 <sup>e</sup>	Suretta	GR	- 35.3	- 13.9	2228	18.09.	11.09.	17.09.
115	Scaletta	GR	n	n		n	n	n
88 <sup>e,f</sup>	Porchabella	GR	sn	- 13.7 <sup>2a</sup>	2638	3.10.	n	18.09.
89 <sup>e</sup>	Verstankla	GR	- 3.5	- 1.8	2395	17.10.	4.09.	28.08.
90 <sup>e</sup>	Silvretta	GR	n	- 10 <sup>2a</sup>	2447	17.10.	n	16.09.
91 <sup>e,f</sup>	Sardona	SG	- 31.1	- 5.5	2500 ca.	16.10.	5.09.	11.09.
<b>Catchment area of the Inn (V):</b>								
92 <sup>e,f</sup>	Roseg	GR	- 35.5	- 62.8	2159	2.10.	9.10.	3.10.
93 <sup>e</sup>	Tschierva	GR	- 31.8	- 25.4	2151	2.10.	9.10.	3.10.
94 <sup>e,f</sup>	Morteratsch	GR	- 26.2	- 10.8	2007	25.10.	25.10.	8.10.
95 <sup>e</sup>	Calderas	GR	- 11.5	- 1.8	2735	22.08.	21.08.	25.08.
96 <sup>e</sup>	Tiatscha	GR	- 14.8	+ 7.8	2500 ca.	11.10.	4.10.	17.10.
97 <sup>e</sup>	Sesvenna	GR	- 3.6	- 6.9	2760	23.09.	12.10.	5.10.
98 <sup>e</sup>	Lischana	GR	n	- 1.5 <sup>2a</sup>	2750	27.10.	n	4.10.
<b>Catchment area of the Adda (IV):</b>								
99 <sup>e</sup>	Cambrena	GR	- x	- 5 <sup>2a</sup>	2480	9.09.	n	1.08.
100 <sup>e</sup>	Palü	GR	- 9.9	- 7.1	2330	15.09.	4.09.	8.09.
101 <sup>e</sup>	Paradisino (Campo)	GR	- 13.4	- 4.5	2826	12.10.	5.09.	10.
102 <sup>e,f</sup>	Forno	GR	- 22.8	- 24	2230	9.10.	8.10.	20.10.
116	Albigna	GR	n	n	2163 <sup>91</sup>	n	n	n
<b>Catchment area of the Tessin (III):</b>								
120 <sup>e</sup>	Corno	TI	+ 3.3	- 1.2	2580	19.10.	12.09.	4.09.
117 <sup>e</sup>	Valleggia	TI	- 3.5	0	2425	29.09.	27.09.	9.09.
118 <sup>e</sup>	Val Torta	TI	+ 0.5	+ 2.9	2550	5.09.	16.09.	9.09.
103 <sup>e</sup>	Bresciana	TI	- 10.8	- 16.8	2760	13.10.	26.09.	26.09.
119 <sup>e</sup>	Cavagnoli	TI	- 13.1	- 13.1	2600	3.10.	10.09.	16.09.
104 <sup>e</sup>	Basodino	TI	- 2.7	- 6.7	2530	2.10.	5.09.	17.09.
121 <sup>e</sup>	Croslina	TI	n	+ 0.8 <sup>2a</sup>	2670	10.10.	n	11.09.
105 <sup>e,f</sup>	Rossboden	VS	+ 4.4	+ 4.6	1920 <sup>95</sup>	22.09.	20.09.	30.09.

## Legend and Remarks

### Abbreviations

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

### Remarks

- 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<sup>4a</sup> = Decrease of 23 meters within 4 years.
- d If the altitude of the glacier tongue or the "Gletschertor" is not measured in 1997, the year of the last measurement is indicated: 2522<sup>95</sup> = 2522 m above sea level, measured in the year 1995.
- e Compare Appendix I: Remarks on individual glaciers.
- f Glacier with nearly complete data series since the beginning of the measurements at the end of the 19<sup>th</sup> century and one of the 38 glaciers selected in Figure 2.1.

THE SWISS GLACIERS 1995/96 AND 1996/97



a) 1964



Photo 2.2:  
The pictures from a) to e) show the Hüfigletscher in various years between 1964 - 1997.  
(Photos: Amt für Forst und Jagd, Abteilung Lawinenverbau, Kanton Uri).

b) 1973

c) 1983



## 2. LENGTH VARIATIONS

*d) 1988*



*e) 1997*



## 2.4 Length variations - Statistics for 1880-1997

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

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

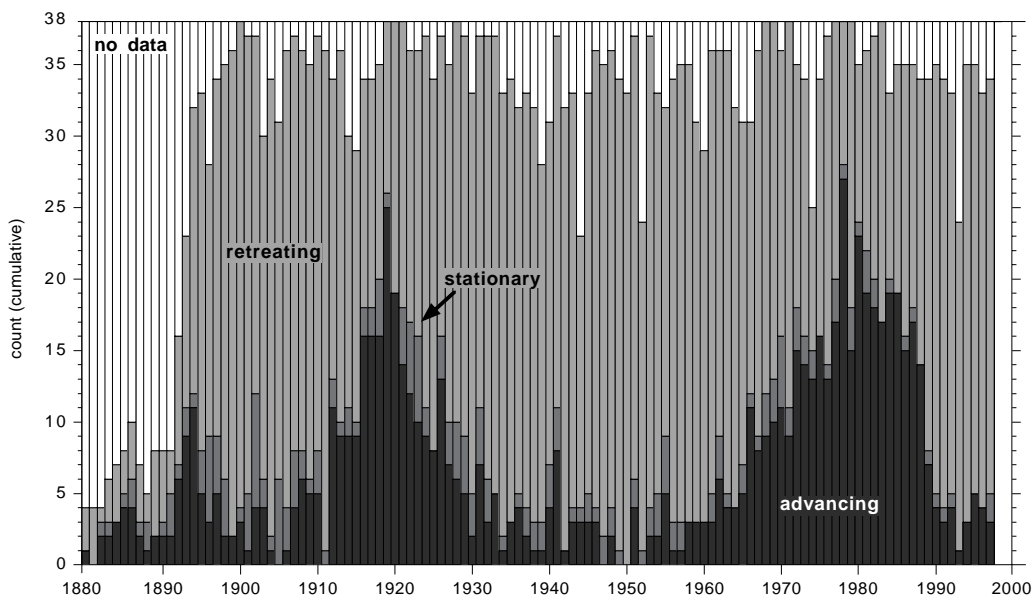


Figure 2.1: Yearly classification of glacier length behaviour (advancing, stationary and retreating) of 38 selected glaciers (compare Table 2.1).

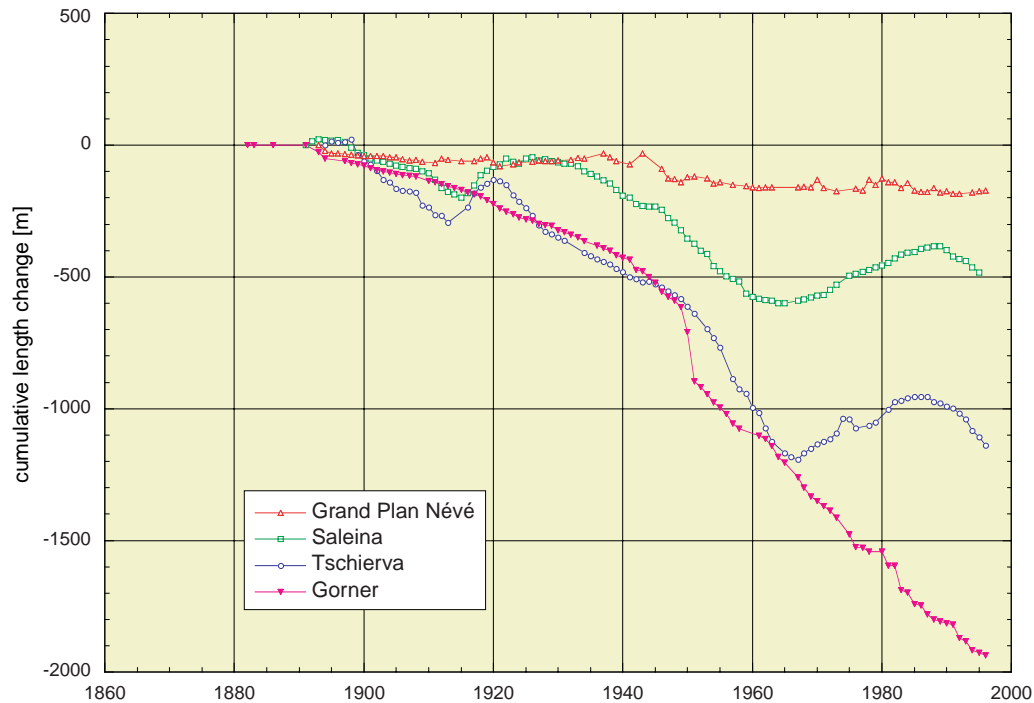
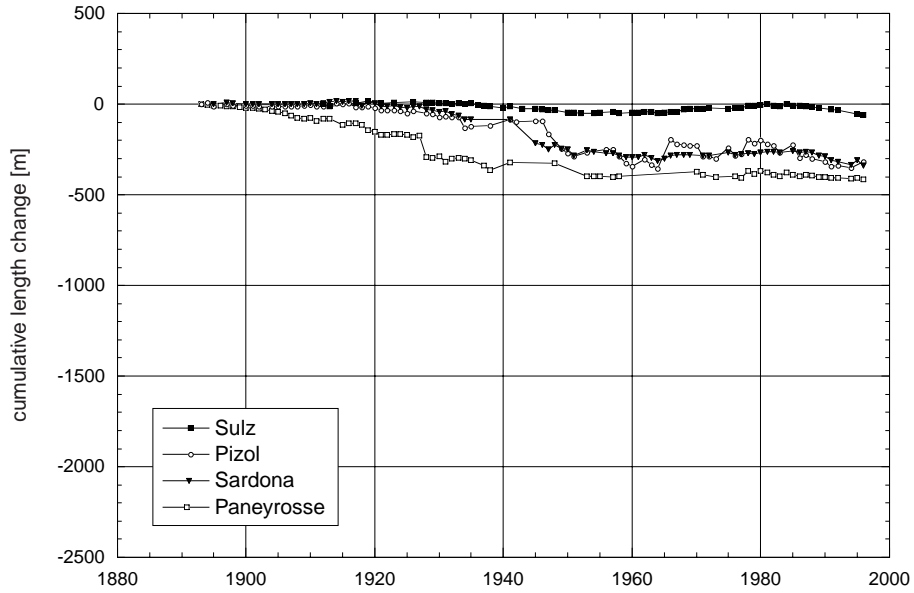


Figure 2.2: Development of cumulative length variations (m) over the whole observation period for Gran Plan Névé, Saleina, Tschierva and Gorner glaciers.

demonstrate the broad difference in the behaviours within the range of the same year. The Gorner, as longest and largest of these glaciers, reacts to mass balance changes in the range of centuries, while the reaction time of Tschierva and Saleina, the two medium-sized glaciers, lies within the range of decades. This can also be seen from their pronounced periodic fluctuations. It is interesting to note that the Tschierva and the Saleina glaciers demonstrated similar behaviour and advanced or retreated almost simultaneously, although they are located about 200 km apart. The climatic conditions in these two regions (southwestern Valais and Engadin) were evidently similar over a long period of time. It should be pointed out that until 1934, the Vadret da Tschierva was joined with the adjacent Roseg. Grand Plan Névé, the small cirque glacier, had only very short-term fluctuations which were small ones during the past 100 years (see Photo 3.2). The small glaciers react almost immediately to annual changes in the mass balance by the accumulation of snow or the melting of snow and firn at the edge of the glacier.

In Figure 2.3a-d selected glaciers have been classified according to their length. It is easy to see from the classification that length is the main factor affecting the length change of a glacier. The big glaciers such as Aletsch, Unteraar, Gorner and Fiescher show no short-term fluctuations, but have been in uninterrupted retreat since the middle of the last century. From Figures 2.3a-d it can be derived



Figures 2.2a-d: Summary of yearly length variations (in m) for glaciers in various length categories:  
 Figure 2.2a: Very small cirque glaciers with a length of less than 1 km.

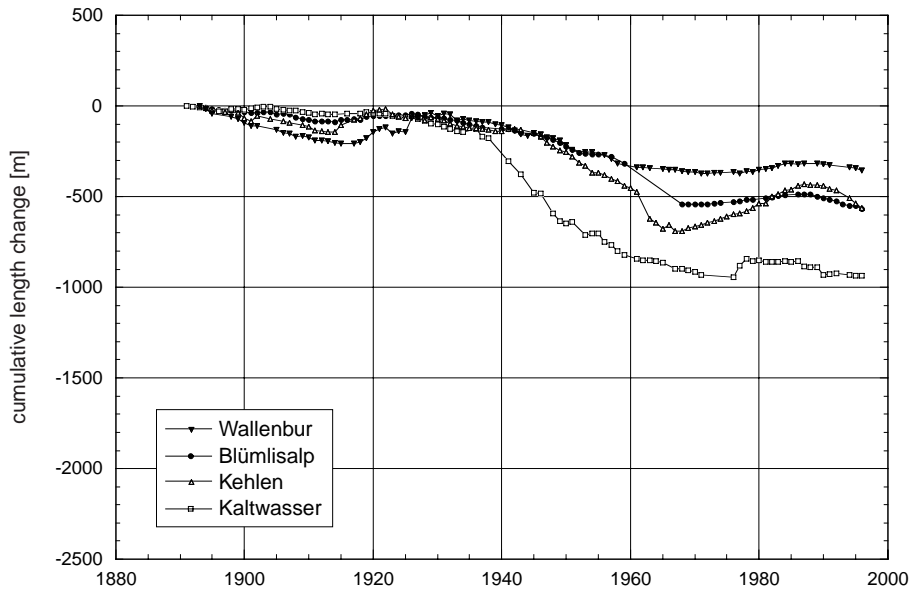


Figure 2.2b: Small mountainous glaciers with a length of 1 - < 5 km.



## 2. LENGTH VARIATIONS

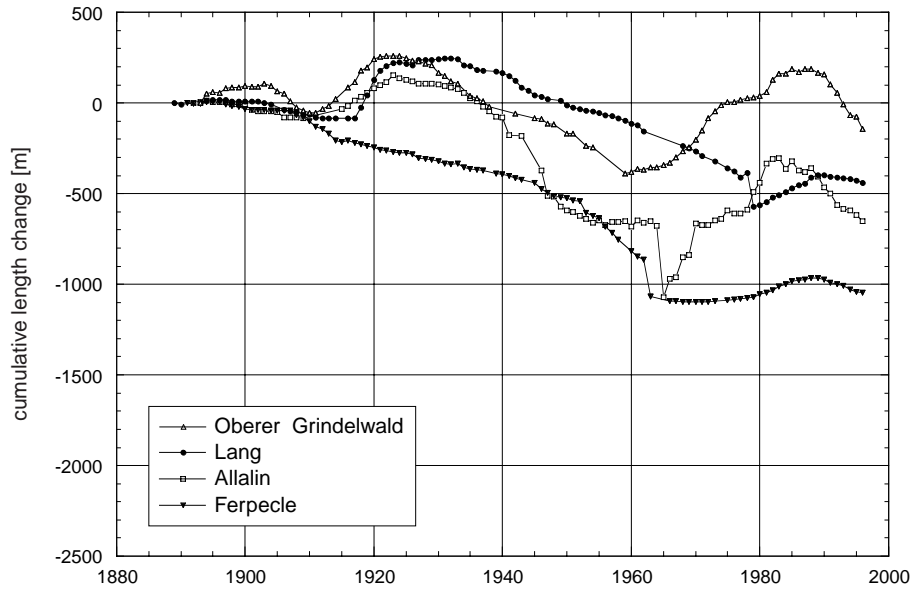


Figure 2.2c: Larger mountainous glaciers with a length of 5 - < 10 km.

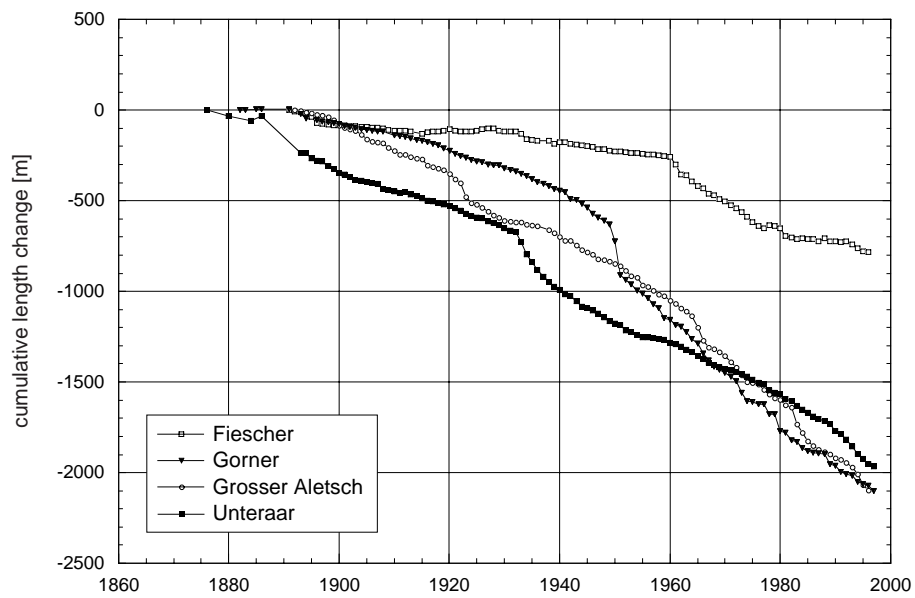


Figure 2.2d: Large valley glaciers with a length of more than 10 km.

that small glaciers (Figure 2.3a) react to changes in the range of a few years, medium-sized and steep, mountain glaciers (Figures 2.3b and 2.3c) react to decadal variations, and large, flat valley glaciers (Figure 2.3d) to trends in the century range. For this reason, only glaciers with similar geometry (length and slope) should be compared with one another: the length changes of the Aletsch, the Pizol or the Ferpècle glaciers reflect not only climatic changes of varying frequency and amplitude, but also climatic events from different periods in the past.

**The Relation between Length Variations and Mass Balance**

It is now possible, thanks to suitable parametrizations, to calculate from the length change the mean mass balance over time spans of decades (the characteristic response time of glaciers, or multiples thereof) by means of balance observations [Jóhannesson, 1989]. Calculations were carried out for 68 selected glaciers from the Swiss Glacier Observation Network. Mean annual mass losses were estimated from the length change for various length categories over time spans corresponding to the response times of the individual glaciers. It can be seen from these estimations that the glaciers have lost an average of -0.11 to -0.24 m water equivalent per year since the middle of the last century (see Table 2.2), whereby the large glaciers tended to lose more specific mass than the small ones [Peschke, 1998]. These results are confirmed by independent investigations by Maisch et al. [1999] as part of the National Research Programme 31 (Climatic Changes and Natural Disasters). Of particular interest is a comparison of glaciers for which the mass balance was determined directly on the basis of measurement data, resulting in a strong accordance (Table 2.3). The results are also confirmed by a comparison with the volume changes on certain alpine glaciers determined by means of precision photogrammetry since the end of the last century [Haeberli, 1998].

*Table 2.2: Mean mass balances for the period 1850 to 1996 for various length categories of 68 selected glaciers in the Swiss Glacier Observation Network.*

Length categories of the glaciers [km]	Specific net balance [m w.e.]
< 1	- 0.11
1- < 5	- 0.17
5 - < 10	- 0.20
> 10	- 0.24
mean	- 0.17

*Tabelle 2.3: Comparison between directly measured mean specific net balances, and those calculated from length changes, for three mass balance glaciers of Switzerland.*

Glacier	Period	Specific net balance [m w.e.]	Remarks
Gries	1962-1996	- 0.27	Directly measured (glaciological method)
	1962-1996	- 0.22	Calculated from length changes
Silvretta	1960-1996	- 0.05	Directly measured (glaciological method)
	1960-1996	- 0.02	Calculated from length changes
Grosser Aletsch	1920-1996	- 0.22	Directly measured (glaciological method)
	1920-1996	- 0.22	Calculated from length changes

## 2.5 Glacier observation network

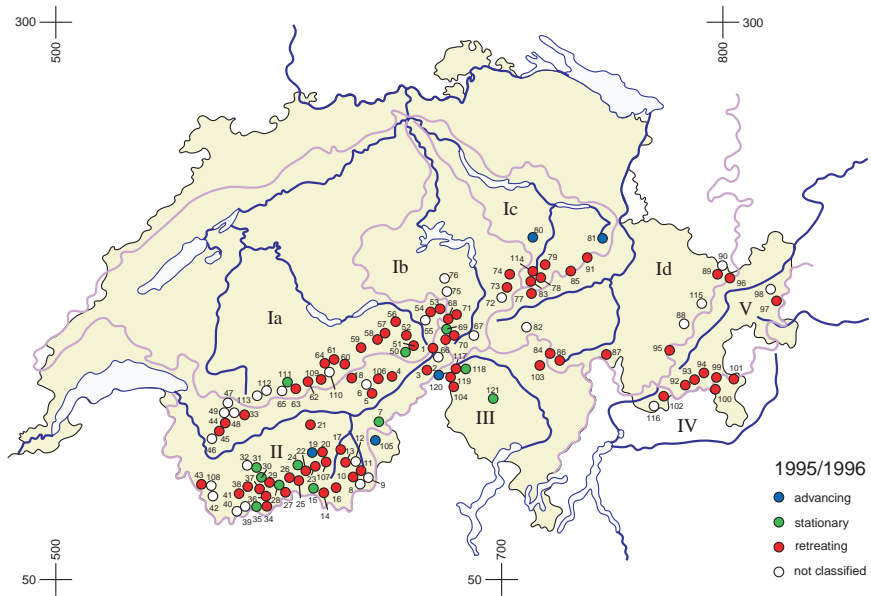


Figure 2.3a: Observed glaciers in 1996.

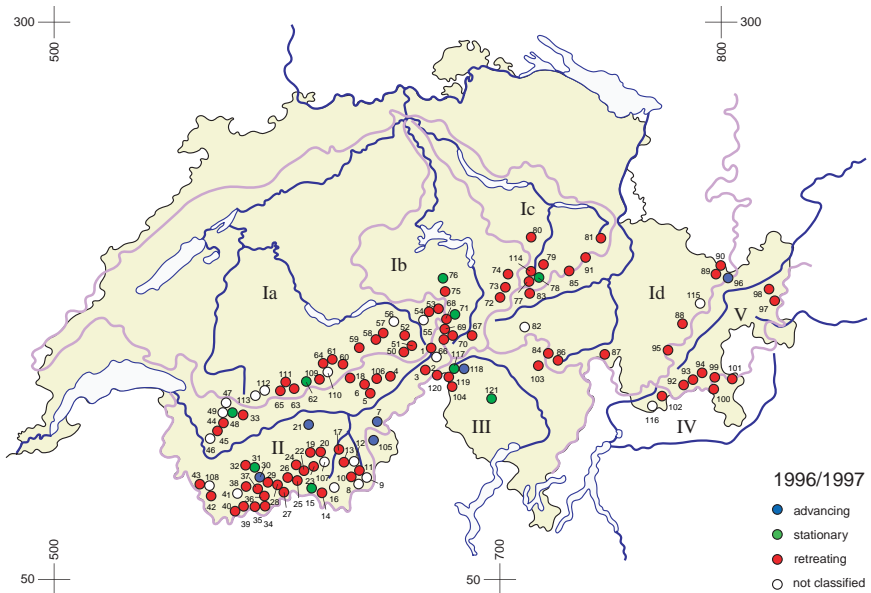


Figure 2.3b: Observed glaciers in 1997.

## 3 Mass Balance

### 3.1 Introduction, cumulative specific net balances

The mass balance and the ice temperatures are influenced by the energy exchange between the atmosphere and the glaciers. Mass balance is a valuable climatic indicator because, in contrast to length changes, it reacts immediately to the annual weather conditions (particularly precipitation and temperature). The mass balance of four glaciers (Gries, Silvretta, Aletsch and Basodino) was observed annually in Switzerland (Figure 3.1). For further information about ghiacciaio del Basodino see chapter 3.7. The annual cumulative specific net balances of these observation series are presented in Figure 3.2 (cumulative spec. net balances). The long-term trends are very well recognizable. The strong mass loss in the 1940s and '80s in particular is remarkable. In addition, the increase in the '60s and '70s of this century is notable. The mass balance of the individual glaciers is measured by different methods. The so-called glaciological method is applied on the Gries, Silvretta and Basodino Glaciers and the hydrologic method on the Aletsch. In addition to these two methods, the photogrammetric / geodetic method merits attention, as it enables elevation changes



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

on the glacier surface to be determined by means of aerial photographs taken at intervals of 5 to 10 years. This surface elevation change can then be converted to a mass change using appropriate assumptions on the density of firn and ice. Thus there are various independent methods available for the determination of the mass balance of a glacier, which facilitate verification and error evaluation [Funk et al., 1997]. Figure 3.2 includes the results from the photogrammetric / geodetic method for the Griesgletscher. The results from the two methods differ by 60 mm per year. The Gries and Silvretta glaciers also belong to the international observation network, together with approximately 50 glaciers whose mass balance is observed in worldwide cooperation with the World Glacier Monitoring Service [IAHS (ICSI) - UNEP - UNESCO, 1991; 1993; 1994; 1996 and 1999].

#### **The effect of glacier changes on the sea level**

The following is a brief explanation of the effect of glacier changes on the sea level. According to the latest studies, in the 1961 - 1990 period mountain glaciers contributed  $0.25 \text{ mm} \pm 0.10 \text{ mm}$  annually to the global rise in sea level [Dyrgerov and Meier, 1997]. In the case of Greenland, esti-



*Photo 3.1:  
Glacier de Saleina, a glacier that has a delayed, but very clear, reaction to decadal climate fluctuations (see Figure 2.2).  
(Photo: D. Vonder Mühl)*

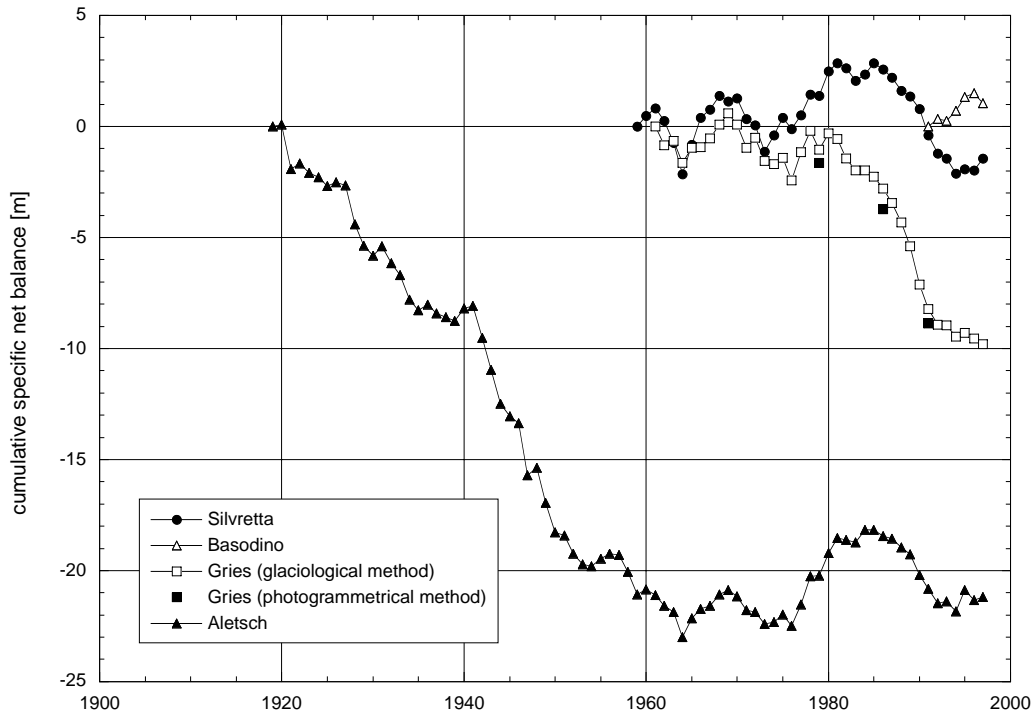


Figure 3.2: Cumulative specific net balance over the whole observation period for Silvretta, Basodino, Gries and Aletsch Glacier.

mations for the period of 1865 - 1990 resulted in a figure of approx. 0.3 mm per year contribution to the rise in sea level [Zuo and Oerlemans, 1997]. This means that mountain glaciers and Greenland combined contributed about 1/3 to the average sea level rise in the last 100 years. In years with unusually high mass losses, the mountain glaciers alone, with a figure of 0.9 mm annually, contributed about half of the total average rise.

The amount of mass loss from glaciers increased again since the mid-80s, and at an accelerated rate since the late 80s. The large mountainous glaciers in regions such as Alaska and Patagonia are of prime importance as they relate to changes in sea level. By way of contrast, if all of the glaciers in the Alps, with an estimated volume of about 130 km<sup>3</sup> (1970s), were to recede completely, it would result in a sea level rise of only about 0.35 mm [Haerberli and Hoelzle, 1995], which indicates that the alpine glaciers play only a minimal role in this context. Nevertheless, the glacial ice reserves are of major significance to smaller mountainous regions, as they represent an important source of fresh water and have a significant influence on the water cycle. In arid regions they are often the sole source of water.

In contrast to mountain glaciers, the large ice shields in Greenland and the Antarctic are, of course, of great importance to the sea level, as the major portion of the ice mass is known to be found there. It is now possible to make an estimation of future mass changes for a number of different scenarios based on current climate models. A recent study [Ohmura et al., 1996] concluded that the two ice shields would react in a very different way to a doubling of the CO<sub>2</sub> content. A mass loss of 390 km<sup>3</sup> (water equivalent) annually was calculated for Greenland, whereas a mass gain of 325 km<sup>3</sup> annually was calculated for the Antarctic, which means that the predicted mass changes of the two ice shields would just about balance each other out. This leads to the conclusion that even in the future, the greatest cause of sea level rise will continue to be the mountain glaciers and the thermic expansion of the ocean.

Glaciers are among the most reliable and most easily understandable indicators of climate. And since they are to be found in most mountainous regions of the world, they have been classified as so-called "three-star indicators", meaning a phenomenon with maximum "signaling effect", in the report of the "Intergovernmental Panel on Climate Change" [IPCC, 1996]. Mass balances are measured even in the tropical mountains of Africa (Kenya) and South America (Bolivia) as part of the worldwide glacier observation network. All of the data collected around the world are analyzed by the "World Glacier Monitoring Service" (WGMS) with headquarters in Zurich in a joint project with the University and the Swiss Federal Institute of Technology in Zurich. The Swiss Glacier Observation Network also contributes in this data collection to the worldwide system of mountain glacier observations. In the future it will become ever more important to record glacier changes, not in isolation, but as part of the entire cryospheric system. Inter- and transdisciplinary research projects within individual systems (e.g., the cryosphere) will also increase in importance, but looking beyond this, it will soon become necessary to surpass the limits of traditional branches of knowledge in order to focus on central issues of the future, for example, how fast the climatic system is changing, or any trends toward its acceleration. The effects of glacier fluctuations could, for example, lead to a distinct change in the potential for natural hazards, which can be increased or diminished, depending on the local situation.

### **3.2 Mass Balance in 1995/96**

Yearly mass balance measurements at the Aletsch, Gries and Silvretta Glaciers were also carried out in the year 1995/96. The differences from year to year are considerable, and the summation curves of the yearly values clearly show the long-term trends. The corresponding measurement series are given in Figure 3.2. The ongoing mass reduction which began at the start of the 1980s is continuing in a somewhat diminished way. The mass balance of Aletschgletscher (- 462 mm) was strongly negative, in contrast to the previous year. The values from Griesgletscher (- 70 mm) and those from Silvrettagletscher (-230 mm) were only slightly negative (cf. Chapter 3.4 Summary Tables).



### 3.3 Mass Balance in 1996/97

Evaluation of this year's measurements from the Gries, Silvretta and Aletsch Glaciers (cf. Figure 3.2 and Chapter 3.4 Summary Tables) reveal the following situation:

- The Griesgletscher also gained slightly up to the start of September, which however was used up by the end of the hydrological year (end of the month), hence resulting in a negative mass balance of - 270 mm.
- There were strong mass gains at the Silvrettagletscher up to mid-September, with the probability that a good amount of ice melted away in September and October due to the warm weather conditions. The mass balance is clearly positive at + 540 mm.
- In the Aletschgletscher catchment (Greater, Upper and Middle Aletsch Glacier), the mass balance is determined using the hydrological method, and is slightly positive (+149 mm), in contrast to the year 1995/96.

The positive mass balances for Silvretta and Aletsch can be explained by the fact that in June and July, important melting months, conditions were relatively cool with abundant precipitation in 1997, although on average the year was generally too warm and too dry.

The year 1996/97 can be summarized as being relatively well-balanced.

### 3.4 Summary Tables

Table 3.1: Summary Table (area, specific net balance, ELA, ELA<sub>0</sub>, AAR, AAR<sub>0</sub>)

Glacier	area [km <sup>2</sup> ]	b <sub>96</sub> [mm]	b <sub>97</sub> [mm]	ELA <sub>96</sub> [m a.s.l.]	ELA <sub>97</sub> [m a.s.l.]	ELA <sub>0</sub> [m a.s.l.]	AAR <sub>96</sub> [%]	AAR <sub>97</sub> [%]	AAR <sub>0</sub> [%]
Gries	6.194 <sup>a</sup>	- 230	- 270	2884	2893	2832	58	57	59
Silvretta	3.009 <sup>b</sup>	- 50	+ 540	2752	2650	2766	59	80	53
Aletsch	126.81 <sup>c</sup>	- 437	+ 149						
Basodino	2.4	+ 616	- 447	2820	2865		62	51	

a Measured in 1991.

b Measured in 1996.

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

Table 3.2: *Gries and Silvretta Glaciers - Net balance 1995/96 and 1996/97 versus altitude and stake values.*

Gries - Measuring period: 29.9.95-25.9.96; 25.9.96-9.9.97

Altitude [m a.s.l.]	Area 1991 [km <sup>2</sup> ]	Specific net balance		Stakes	Year	
		1995/96 [mm]	1996/97 [mm]		1995/96 [mm]	1996/97 [mm]
2400 - 2500	0.153	- 2740	- 2790	1	+ 90	0
2500 - 2600	0.805	- 1920	- 1970	2	+ 460	- 170
2600 - 2700	0.619	- 1220	- 1260	3	+ 520	+ 80
2700 - 2800	0.457	- 630	- 670	4	+ 110	-
2800 - 2900	0.658	- 140	- 180	5	- 370	-
2900 - 3000	0.994	+ 240	+ 200	6	-1850	-1760
3000 - 3100	1.600	+ 510	+ 470	7	-2240	-1670
3100 - 3200	0.692	+ 670	+ 630	8	-1730	-1610
3200 - 3300	0.206	+ 780	+ 750	9	-2180	-1560
3300 - 3400	0.010	+ 890	+ 860	10	-3060	-2530
2400 - 3400	6.194	- 230	- 270			

Silvretta - Measuring period: 18.9.95-11.9.96; 11.9.96-16.9.97

Altitude [m a.s.l.]	Area 1994 [km <sup>2</sup> ]	Specific net balance		Stakes	Year	
		1995/96 [mm]	1996/97 [mm]		1995/96 [mm]	1996/97 [mm]
2400 - 2500	0.021	- 2690	- 1870	1	-	+1650
2500 - 2600	0.370	- 1550	- 820	2	+ 860	+1130
2600 - 2700	0.451	- 660	- 10	3	+ 640	+1170
2700 - 2800	0.770	- 20	+ 580	4	+ 260	+ 740
2800 - 2900	0.623	+ 380	+ 940	5	+ 150	+ 370
2900 - 3000	0.596	+ 640	+1180	6	-	- 510
3000 - 3150	0.178	+ 890	+1410	7	-1530	- 770
2400 - 3150	3.009	- 50	+ 540	8	-1540	- 540

### 3. MASS BALANCE



*Photo 3.2:  
Glacier de Grand Plan Névé: This small cirque glacier reacts very quickly and thus has very short-term (small) fluctuations. In snow-rich winters the glacier tongue hardly melts at all, whereas in warm summers the snow melts away almost completely (see Figure 2.2).*

*(Photo: J.P. Marlétan)*

### 3.5 Griesgletscher (Aegina)

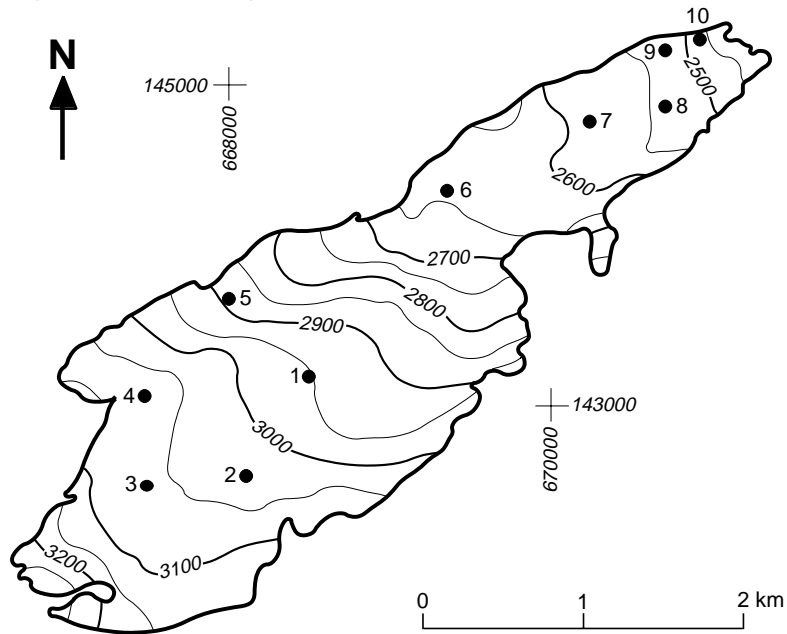


Figure 3.3a: Topography and observational network of the Griesgletscher.

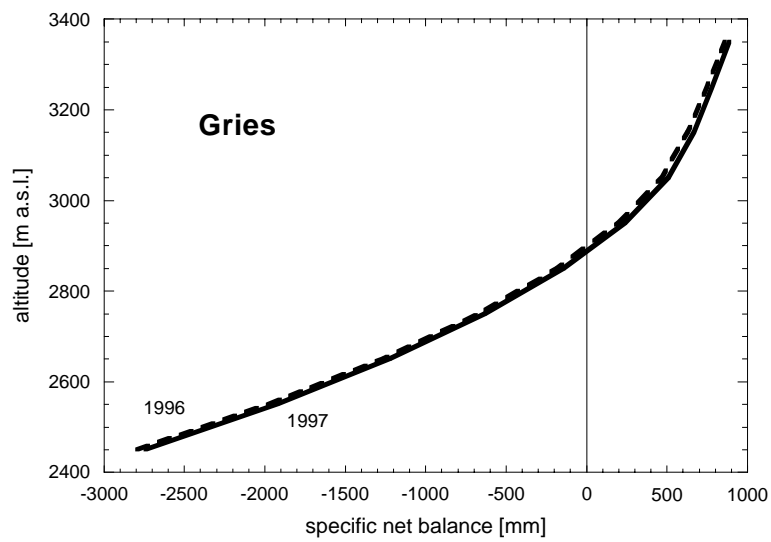


Figure 3.3b: Mass balances 1995/96 and 1996/97 versus altitude.

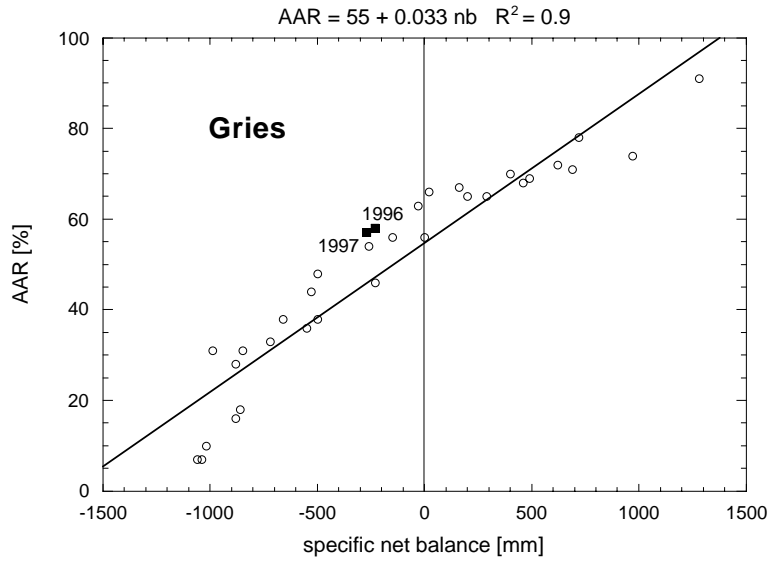


Figure 3.3c: Accumulation area ratio (AAR) versus specific net balance for the whole observation period.

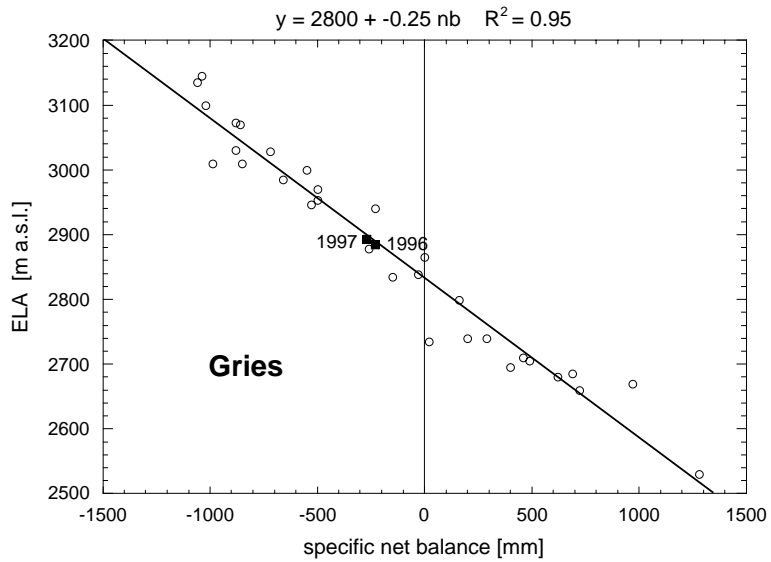


Figure 3.3d: Equilibrium line altitude (ELA) versus specific net balance for the whole observation period.

### 3.6 Silvrettagletscher

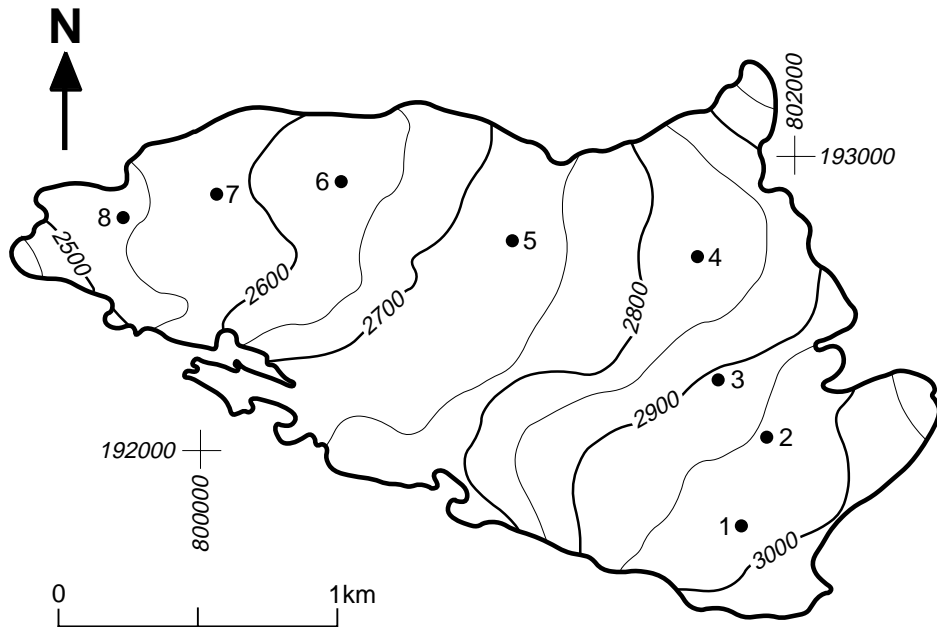


Figure 3.4a: Topography and observational network of the Silvrettagletscher.

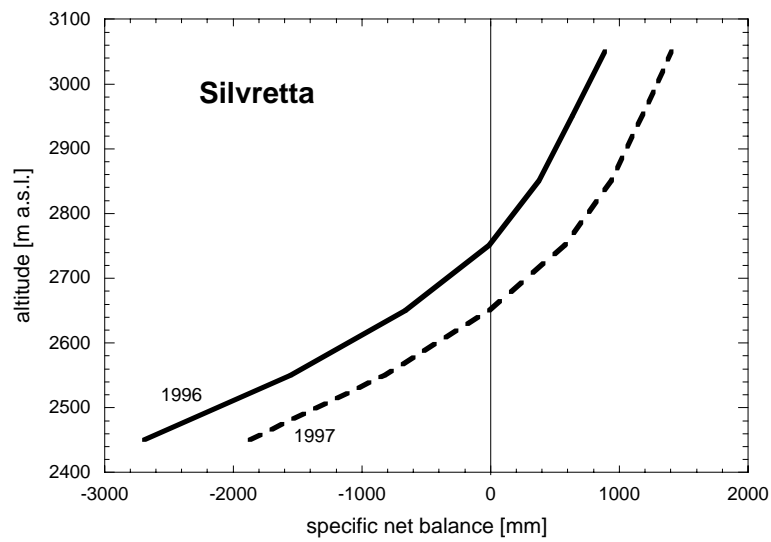


Figure 3.4b: Mass balances 1995/96 and 1996/97 versus altitude.

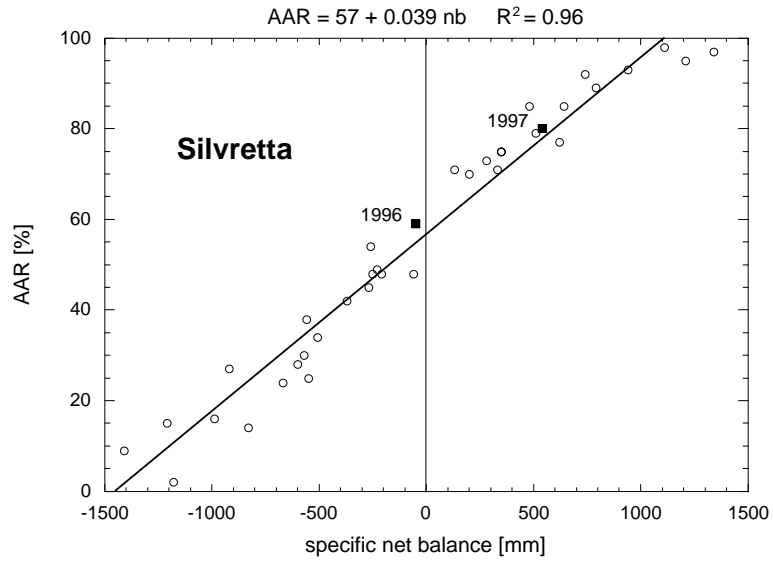


Figure 3.4c: Accumulation area ratio (AAR) versus specific net balance for the whole observation period.

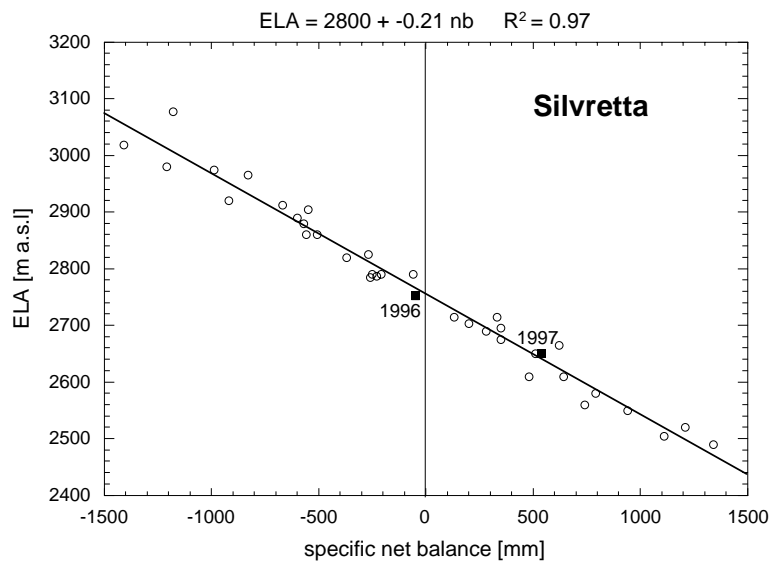


Figure 3.4d: Equilibrium line altitude (ELA) versus specific net balance for the whole observation period.

### 3.7 Ghiacciaio del Basodino (Ticino)

The Ghiacciaio del Basodino (2.4 km<sup>2</sup>) in the southern part of the Swiss Alps is located on a slope plateau and is the largest surveyed glacier of the southern Swiss Alps (Photo 3.3). Its extension stretches from the summit of Basodino Peak (3272 m) down to the rather wide tongue (2520 m in 1995). To the West there is the smaller Ghiacciaio del Cavigno, still in contact with the main body [Kappenberger and Aellen, 1998].

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

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



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



## 4 Velocity of Some Specific Glaciers

### 4.1 Introduction

Since 1924 the ablation areas of the Aare glaciers (Figure 4.1) have been geodetically measured each year by the Flotron AG geodetic company on behalf of the Oberhasli power station. Detailed information with annual values for 1995/96 and 1996/97 in the ablation area is contained in the reports on the measurement of the Aare glaciers [Flotron AG, 1996 and 1997] (cf. Tables 4.1 and 4.2).

Since 1966 the section of Glaciology of the Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW) at the Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zürich has been contracted by the Force Motrice de Mauvoisin SA to survey the glaciers in the Val de Bagnes area in the lower part of the Valais. The main objective of this research assignment is to observe the flow conditions of the glaciers, particularly with regard to their potential threat to the operation of the water power station in the valley. The observations are mainly focused on the two glaciers, Giétro and Corbassière (Chapter 4.2 and 4.3).

### 4.2 Aare glaciers

#### 4.2.1 Aare glaciers

For the first time starting in 1996, the aerial photographs of the Aare glaciers are being rectified and combined into a ortho-photo mosaic, a process which opens up new possibilities for the evaluation of glacier movements. Digital terrain models have been further refined since 1997, allowing even more detailed representations of local ablation and accumulation to be made. Several research projects were carried out at the VAW in the last years [Gudmundsson, 1997; Gudmundsson et al., 1997; Gudmundsson, 1999 and Gudmundsson and Bauder, 1999]. Detailed analysis of spatial changes based on aerial photographs were performed in one of these projects. The results are presented in Chapter 6.2.

#### 4.2.2 Aare glaciers 1995/96 - Changes in thickness and movement

The observation period of 321 days is less than a full year, which makes it difficult to evaluate the changes of the Aare glaciers by comparison with previous years.

The total loss in volume of 24.5 million m<sup>3</sup> is slightly higher than the mean value of the last 10 years. The surface elevation changes are quite similar for all of the glaciers, with the greatest mass loss occurring near the glacier tongue. Modest accumulations can be seen between profiles 2 and 3

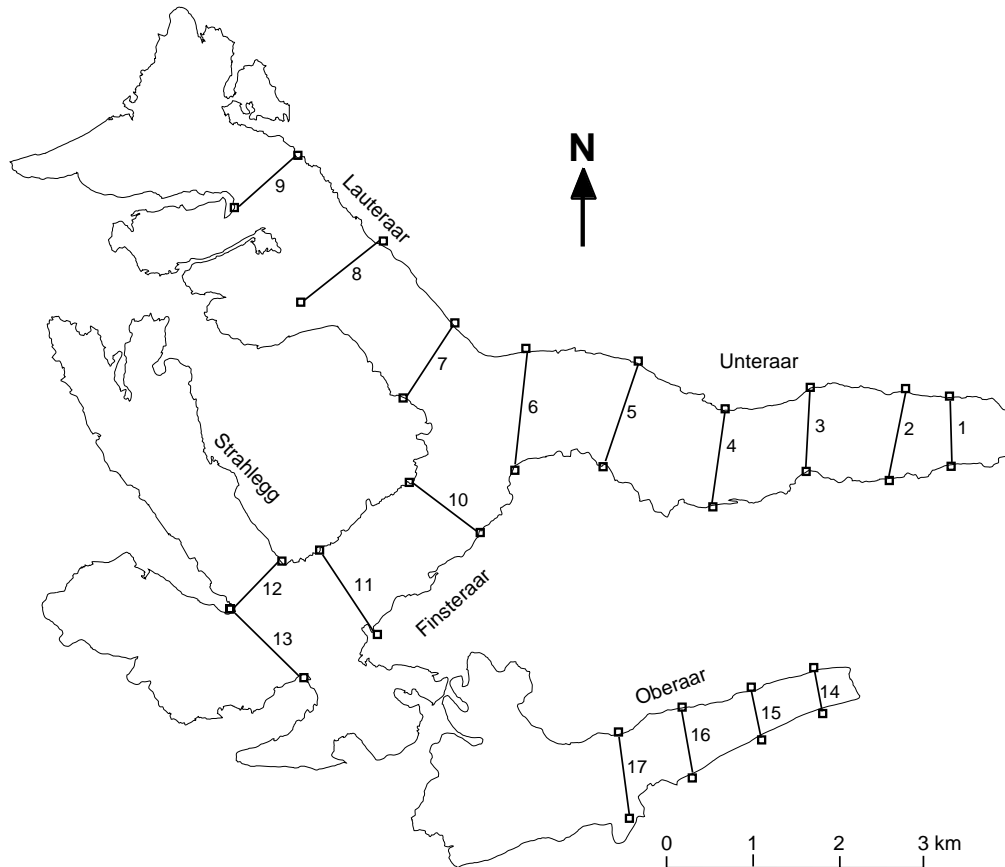


Figure 4.1: Glacier boundaries and geodetic profiles of the Aare glaciers.

(Figure 4.1). The evaluated surface of the Unteraargletscher comprises 13.71 km<sup>2</sup>. The mass loss of 21.7 million m<sup>3</sup> leads to a mean lowering of the surface of 1.6 m. The evaluated surface of the Oberaargletscher measures 1.53 km<sup>2</sup>, which at a volume loss of 2.8 million m<sup>3</sup> corresponds to a mean lowering of 1.8 m.

On the whole, it was difficult to measure the surface velocities, as the aerial photography could not be carried out before October of 1995. Thus profiles 7, 8, 11, 14 and 16 could only be measured partially or not at all. The surface velocities of the Unteraargletscher and the lower section of the Lauteraargletscher tend to have risen slightly.

### 4.2.3 Aare glaciers 1996/97 - Changes in thickness and movement

The total volume loss of 9.4 million  $\text{m}^3$  is smaller than the mean value of the last 10 years. The loss of ice mass was greatest near the tongue and became less with increasing altitude. There is a volume increase in the areas near the firn. The evaluated surface of the Unteraargletscher comprises 13.71  $\text{km}^2$ . The mass loss of 8.2 million  $\text{m}^3$  leads to a mean lowering of the surface of 0.6 m. The measured surface of the Oberaargletscher is 1.53  $\text{km}^2$ , which at a volume loss of 1.2 million  $\text{m}^3$  corresponds to a mean lowering of 0.8 m. Now that the terrain models are more precise, it is possible, for example, to discern the movement (rising) of the bumps in the middle of the glacier above profile 5 (Figure 4.1) The localized elevated areas that result from deposition of avalanche snow along the sides of the glacier are also discernible (e.g., Finsteraargletscher, south profile 11).

Ideal conditions for measuring surface velocities prevailed in the year under report, which made possible a perfect stereoscopic observation of the 1996/97 mixed models. It was possible for the first time to measure profiles 1-8, 10-11 and 14-17. Mean velocity values are higher than in the years 1993 to 1995, but lower than for the years 1990 to 1992 (see Figure 6.?).

The cumulative annual thickness change since 1924 are compared for two transverse profiles in Figure 4.2.

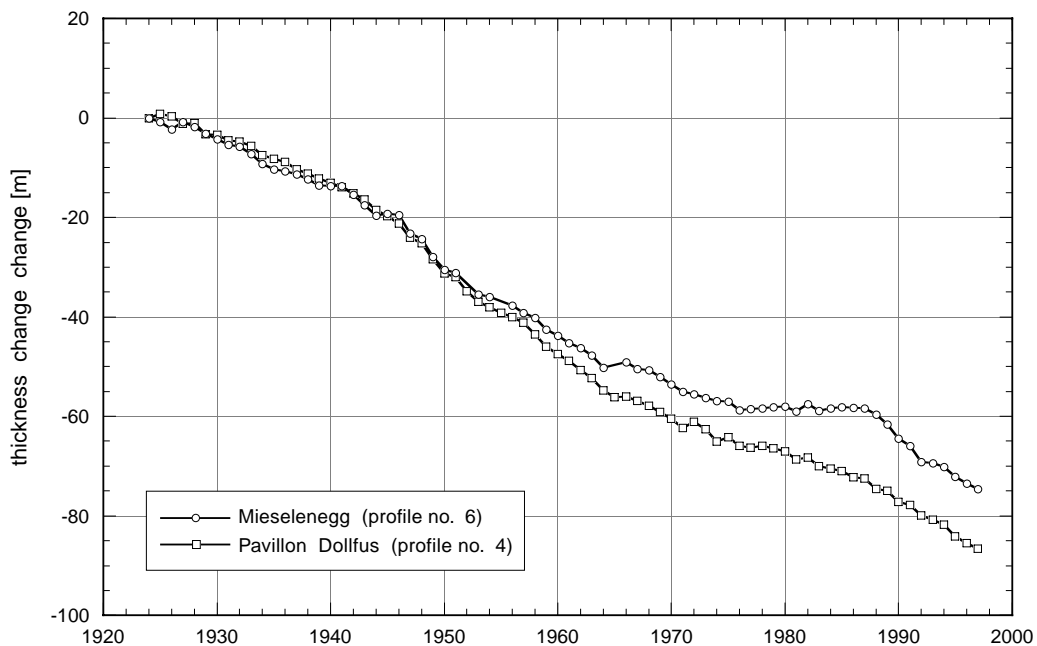


Figure 4.2: Cumulative annual thickness changes since 1924 for two selected transverse geotetic profiles (Figure 4.1).

#### 4.2.4 Summary Tables

*Tabelle 4.1a: Change of thickness and velocity of the Aare glaciers in 1995/96.  
Measuring period: 7.10.95 - 23.8.96*

Glacier	Profiles	glacier surface		glacier movement			
		altitude 1996	altitude changes	displacement mean	max	velocity mean	change
Unteraar	Z glacier tongue 1996						
	1	1936.1	-1.6	1.0	1.4	1.1	0.5
	2 Obere Brandlamm	2007.2	-1.6	1.8	3.0	2.1	-0.3
	3	2108.1	-1.9	12.4	18.1	14.1	1.0
	4 Pavillon Dollfuss	2199.8	-1.4	16.1	19.8	18.4	1.5
	5	2271.8	-1.4	20.6	27.6	23.5	4.4
Lauteraar	6 Mieselenegg	2347.8	-1.4	24.4	29.3	27.8	2.5
	7	2415.6	-1.5	19.5	29.2	22.2	-1.0
	8 Wildläger	2501.0	-2.2	15.1	15.1	17.2	
Finsteraar	9	2631.0	-1.6				
	10	2435.8	-1.9	26.0	32.2	29.6	1.8
	11 Grunerhorn	2545.1	-1.5	29.3	36.7	33.5	
	12 Strahlegg	2614.1	-1.7				
	13 Finsteraar	2641.2	-1.7				
Oberaar	z glacier tongue 1996						
	14 Middle Profile	2341.0	-1.5				
	15 Upper Profile	2470.7	-1.7	5.6	8.4	6.3	
	16 Uppermost Profile	2549.3	-1.8				
	17	2662.4	-1.0				

*Tabelle 4.1b: Change of area and volume of the Aare glaciers in 1995/96.*

Profile	area change [m <sup>2</sup> ]	volume change [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]	Profile	area change [m <sup>2</sup> ]	volume change [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]
Unteraar			Finsteraar		
Z - 2	- 9910	- 958.51	10 - 11		- 2656.35
2 - 3		- 1347.54	11 - 12/13		- 1801.24
3 - 4		- 1381.75	Z - 9/12/13		-21718.52
4 - 5		- 2118.95			
5 - 6		- 2606.64	Oberaar		
6 - 7/10		- 3785.40	Z - 15	- 130	- 856.80
Lauteraar			15 - 16		- 982.10
7 - 8		- 2762.51	16 - 17		- 943.85
8 - 9		- 2299.63	z - 17		- 2782.75

4. VELOCITY OF SOME SPECIFIC GLACIERS

*Table 4.2a: Change of thickness and velocity of the Aare glaciers in 1996/97.  
Measuring period: 23.8.96 - 15.8.97*

Glacier	Profiles	glacier surface		glacier movement			
		altitude 1997	altitude changes	displacement mean	max	velocity mean	change
Unteraar	Z glacier tongue 1997						
	1	1936.0	-0.1	1.1	2.9	1.1	0.0
	2 Obere Brandlamm	2005.2	-1.9	2.0	5.7	2.1	0.0
	3	2106.7	-1.3	12.3	16.6	12.6	-1.5
	4 Pavillon Dollfuss	2198.6	-1.1	18.3	23.5	18.8	0.4
	5	2271.3	-0.5	21.1	29.3	21.5	-2.0
Lauteraar	6 Mieselenegg	2346.6	-1.1	27.6	34.5	28.2	0.4
	7	2414.9	-0.7	25.2	32.7	25.8	3.6
	8 Wildläger	2501.1	0.1	35.4	45.0	36.2	19.0
Finsteraar	9	2630.8	-0.3				
	10	2434.8	-0.8	28.5	34.7	29.2	-0.4
	11 Grunerhorn	2544.7	-0.3	35.0	44.5	35.8	2.3
	12 Strahlegg	2614.2	0.1				
	13 Finsteraar	2641.9	0.7				
Oberaar	z glacier tongue 1997						
	14 Middle Profile	2339.9	-1.0	2.4	5.3	2.5	
	15 Upper Profile	2469.7	-0.9	5.7	8.1	5.9	-0.4
	16 Uppermost Profile	2548.8	-0.5	9.1	14.3	9.3	
	17	2662.8	0.4	17.0	24.9	17.4	

*Table 4.2b: Change of area and volume of the Aare glaciers in 1996/97.*

Profile	area change [m <sup>2</sup> ]	volume change [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]	Profile	area change [m <sup>2</sup> ]	volume change [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]
Unteraar			Finsteraar		
Z - 2	- 12613	- 937.84	10 - 11		- 819.99
2 - 3		- 1377.69	11 - 12/13		+ 25.69
3 - 4		- 1064.80	Z - 9/12/13		- 8194.12
4 - 5		- 1313.10			
5 - 6		- 1319.34	Oberaar		
6 - 7/10		- 1407.64	Z - 15	- 867	- 468.93
Lauteraar			15 - 16		- 464.41
7 - 8		- 432.90	16 - 17		- 229.44
8 - 9		+ 453.49	z - 17		- 1162.78

### 4.3 Glacier de Giétro

One of the longest measurement series in existence, for glacier de Giétro (Photo 4.1) in Val de Bagnes (Valais), is being continued under contract of the Morce 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 30 years, include periods of glacier growth and recession [VAW, 1997]. Figure 4.3 shows the velocity measurements at 8 stakes along the central flow line of the glacier, taken since 1966. There are 3 distinct periods: in the first (1966-1976), the velocities in the accumulation area (stakes 1, 2 and 4) are approximately 5-7 m per year, in the middle region of the glacier (stake 6) about 80-95 m per year and in the tongue area (stakes 8 and 10) they are in the range of 55-70 m annually. The second period (1977 to 1982) is marked by a distinct acceleration phase, in which the speeds (for example, at stake 6) increase from 80 m to 120 m per year. From the middle of the 1980s onward, the velocities decrease sharply again and in the last year have reached the lowest values measured since 1966 (Table 4.3).

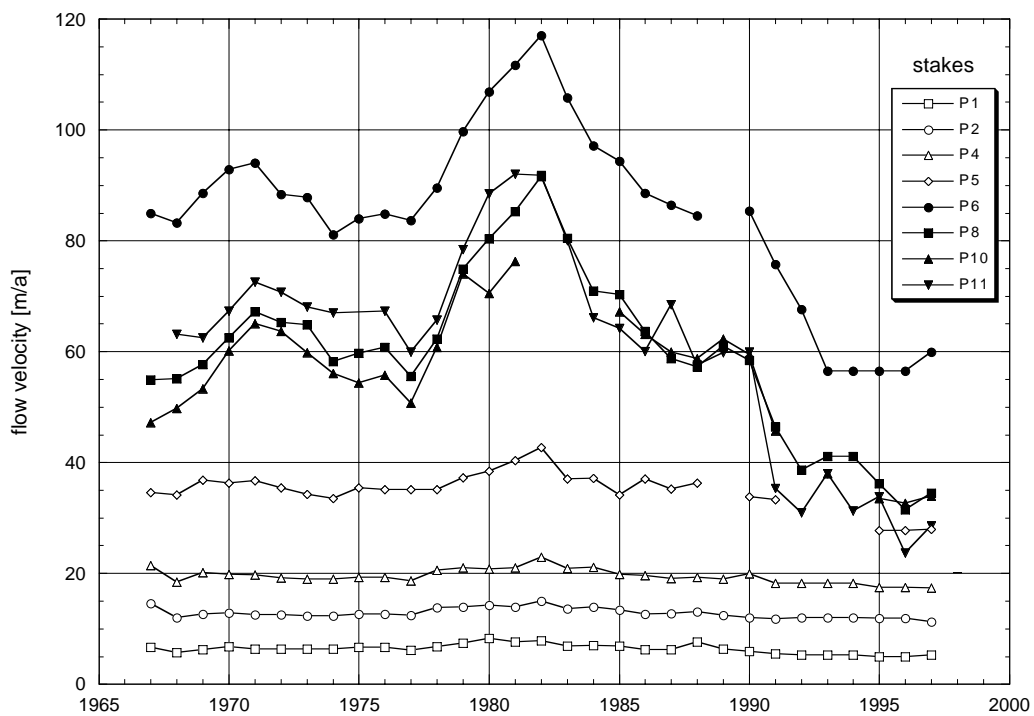


Figure 4.3: Annual flow velocities of the Glacier de Giétro at all 8 stakes.

#### 4. VELOCITY OF SOME SPECIFIC GLACIERS



*Photo 4.1:  
View toward the tongue  
region of the Glacier de  
Giétro.  
(Photo: M. Hoelzle, ETH  
Zurich)*

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

*Table 4.3: Annual flow velocities of the Glacier de Giétro at all 8 stakes.*

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]	P11 [m/a]
1996	5.0	11.9	17.5	27.7	56.5	31.5	32.6	23.6
1997	5.2	11.3	17.4	28.0	59.9	34.4	33.9	28.6

### 4.4 Glacier de Corbassière

Glacier de Corbassière has been under observation since 1955 by taking length change measurements. This glacier is endangering the water catchment of the Mauvoisin power company at the front of the tongue. In the ablation area of the glacier, two profiles made by stakes are observed annually to determine the velocities. Figure 4.4 shows the annual velocities for the two profiles since 1967. Like glacier de Giétro, glacier de Corbassière shows a strong velocity increase at the beginning of the 1980s. Since then then velocities decreased continuously.

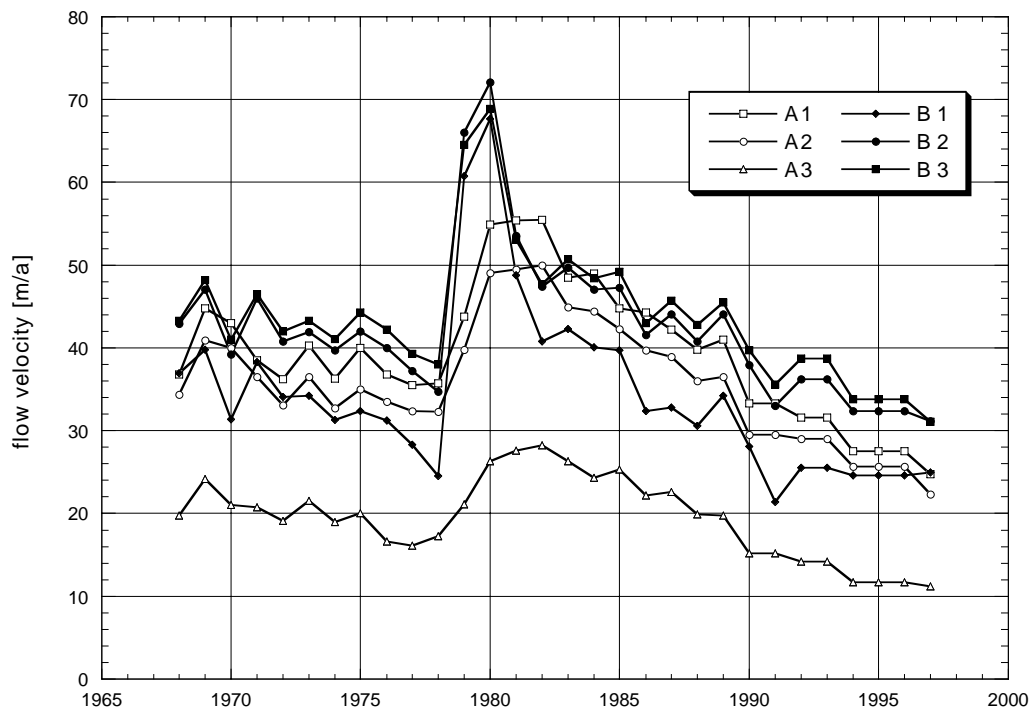


Figure 4.4: Annual flow velocities of the glacier de Corbassière at two profiles with 3 stakes each.

Table 4.4: Annual flow velocities of the glacier de Corbassière at all 6 stakes.

year	velocities at stake					
	A1 [m/a]	A2 [m/a]	A3 [m/a]	B1 [m/a]	B2 [m/a]	B3 [m/a]
1996	27.5*	25.7*	11.7*	24.6*	32.4*	33.8*
1997	24.8	22.3	11.2	24.9	31.2	31.1

\* Value for 3 years.



## 5 Snow and Firn Accumulation

### 5.1 Claridengletscher

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

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

#### 5.1.1 Investigations in 1995/96

The spring measurements for 1996 were done on June 1<sup>st</sup> and the fall ones on September 17<sup>th</sup>, after an early initial snowfall on August 18<sup>th</sup> and September 13<sup>th</sup>. The winter did not bring a lot of snow, with one of the lowest winter values, but during the summer the loss was even less and the balance turned out to be positive (Table 5.1).

Table 5.1: *Snow and firn accumulation, change in thickness and movement of the Claridengletscher in 1995/96.*

Measuring period		Measuring site		Snow or firn increase			Change in	Horiz.
from	to	stake	altitude	[cm]	[cm w.e.]	[g/cm <sup>3</sup> ]	thickness	movement
			[m a.s.l.]				[m]	[m]
Winter								
10.10.95 - 1.6.96		lower	2700	310				
10.10.95 - 1.6.96		upper	2900	397	181	0.455		
Year								
10.10.95 - 17.9.96		lower	2700	82***	17*	0.205*	+ 0.3	
10.10.95 - 17.9.96		upper	2900	230	99	0.432	+ 0.3	11

\* 17 cm snow in August and September gives 4 cm w.e. balance.

\*\* Loss of 22 cm wintersnow, at a density of 550 g/cm<sup>3</sup> gives 13 cm w.e.

### 5.1.2 Investigations in 1996/97

The spring measurements were done on May 19th and the fall investigation took place on September 16th (Table 5.2).

Table 5.2: Snow and firn accumulation, change in thickness and movement of the Claridengletscher in 1996/97.

Measuring period	Measuring site	Snow or firn increase	Change in	Horiz.
from	stake	[cm]	thickness	movement
to	altitude	[cm w.e.]	[m]	[m]
	[m a.s.l.]	[g/cm <sup>3</sup> ]		
Winter				
17.9.96 - 19.5.97	lower 2700	486		
17.9.96 - 19.5.97	upper 2900	575	255	0.444
Year				
17.9.96 - 16.9.97	lower 2700	91	53	0.585
17.9.96 - 16.9.97	upper 2900	215	121	0.561
			+ 0.2	3.2
			- 0.5	11.5

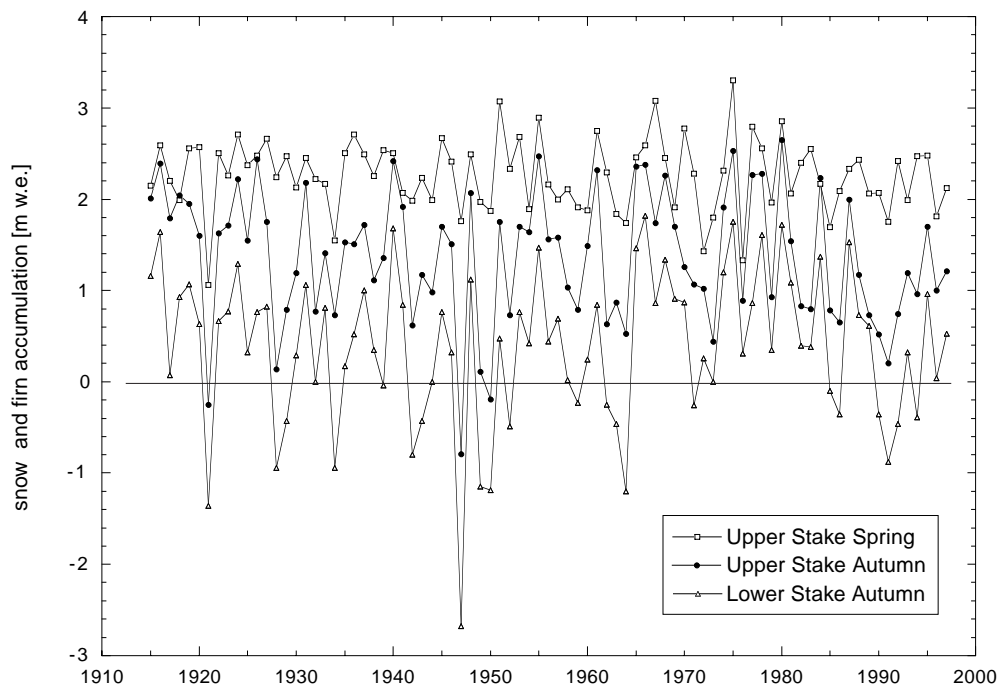


Figure 4.5: Snow and firn accumulation changes on the upper and lower Stake on Claridengletscher over the whole observation period.

## 6 Selected glaciological research project

### 6.1 Looking back on 10 Years of Permafrost Research at Piz Corvatsch (prepared by D. Vonder Mühll and M. Hoelzle)

In regions where the winter frost does not fully thaw, the ground below the surface remains frozen all year round with temperatures constantly under 0°C. This phenomenon is known as permafrost. In this zone there is a major portion of ice in places, and in talus slopes in particular, the volume of ice is often very high (40 to almost 100%). The frozen debris creeps down the slope by the force of gravity and typical patterns of motion develop that resemble lava streams. The morphological form of this creeping permafrost is known as “rock glacier” although it is decidedly different from glaciers, both in the manner in which it evolved and in its appearance.

In 1987, as part of a VAW-ETH Zurich research project, scientific drilling to 60 m depth was conducted near the mid-station of the cable gondola between Surlej and Corvatsch, on the Murtèl-Corvatsch rock glacier [Haeberli et al., 1988]. Drilling cores were removed, geophysical measurements in the borehole carried out and instruments for further, long-term observations were installed.



*Photo 6.1:  
View of the Murtèl-Corvatsch rock glacier taken from the cable gondola which shows the creeping permafrost  
(Photo: D. Vonder Mühll)*

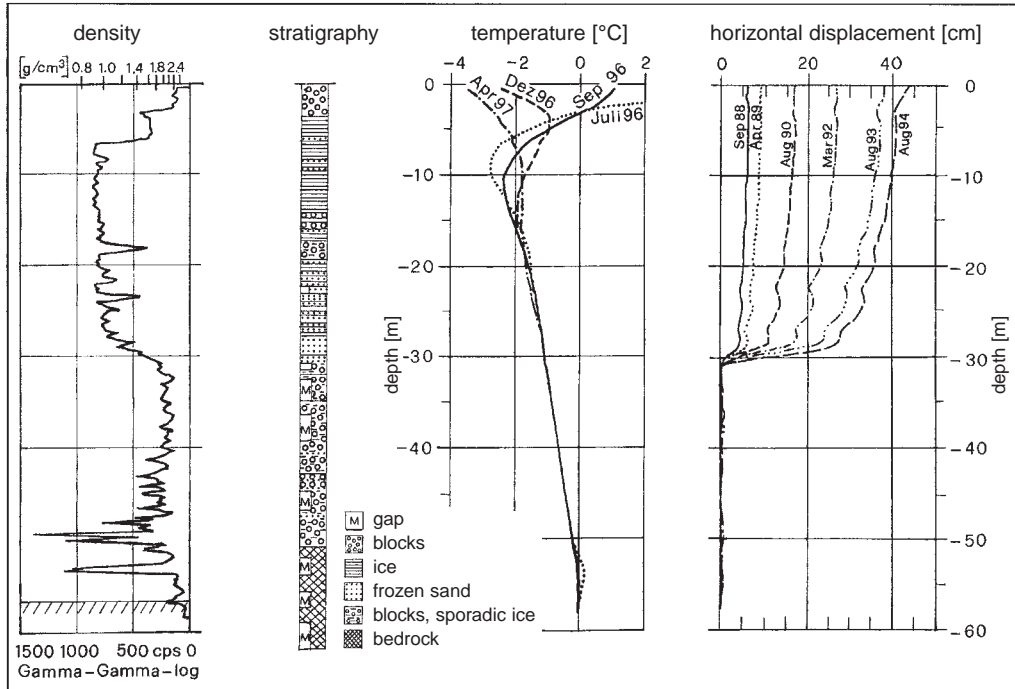


Figure 6.1: The most important results from the Murtél-Corvatsch drilling of 2/1987, from left to right: density ( $\gamma$ - $\gamma$ -log), drill-core analysis, temperature and borehole deformation with depth. Almost pure ice was drilled into above 30 m depth. Below this there are blocks of stone and rock with ice in the gaps (see density and core). Solid rock appears at 57 m depth. At the so-called shear plane at 30 m depth the borehole deforms the most (left). The surface temperature is approx.  $-3^{\circ}\text{C}$ , the seasonal variations are measurable down to 20 m and in the 52 to 56 m range, seasonal variations also occur at the groundwater level [Vonder Mühll, 1993].

The surface of the rock glacier consists of blocks of various diameters in size (a few centimeters to several meters). Beneath the approx. 2 m thick upper surface there is a 30 m deep section of almost pure ice (Figure 6.1). Between 30 m and 57 m, where the bedrock was drilled, blocks of rock dominate, and gaps are filled with ice.

At the drilling site, the permafrost creeps downvalley at a rate of 6 cm per year. The measurements taken at the borehole deformations show that about two-thirds of it originates from the shear plane at a depth of 28 to 30 m (Figure 6.1). The borehole has been so badly deformed since 1994 that it is no longer possible to pass through the measurement probe [Wagner, 1996].

The temperatures between 3.6 m and 52.6 m depth are below  $0^{\circ}\text{C}$  all year round, and the yearly variations are measurable down to 20 m (Figure 6.1). Surprisingly, seasonal variations also occur

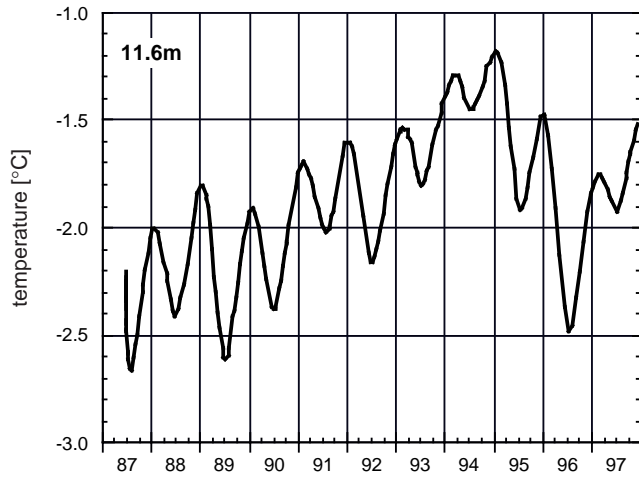
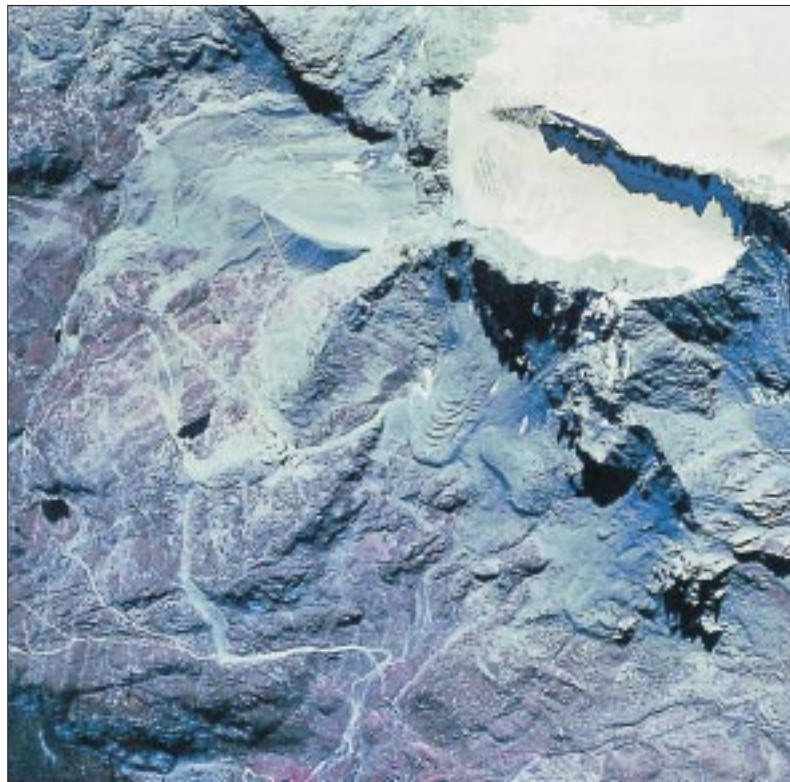


Figure 6.2:  
 Temperature development at 11.6 m depth in the permafrost of the Murtél-Corvatsch rock glacier. The amplitude is still approx. 0.4°C, phase displacement about half a year (it takes about half a year for the warmth of the sun to reach this depth). In the first seven years of the measurement series the permafrost warmed up very much, and due to the two snow-poor winters of 1994/95 and 1995/96, temperatures fell to similar values as in 1987.

Photo 6.2:  
 Infrared aerial photograph of the Murtél-Corvatsch region. The vegetation is shown in red. The rock glacier, resembling a stream of lava, is easily recognizable next to the ski trails at the mid-station of the aerial cableway.  
 (Photo: Eidgenössische Vermessungsdirektion, 7.9.1988, Fluglinien Nr. 061 161, Bild - Nr. 4771)



between a depth of 52 and 56 m, whereas below this depth, stable negative temperatures are recorded. This indicates an active groundwater layer in summer within the body of permafrost. In 1987 and 1994 the upper 30 m warmed up, in some places to a large extent. The winters of 1994/95 and 1995/96 were snow-poor in Engadin, so that the snow layer had no significant insulating effect, thus allowing the winter cold to penetrate almost unhindered into the ground [Vonder Mühll et al., 1998]. Hence the temperature at a depth of 11.6 m again attained values similar to those at the beginning of the measurement series in 1996 (Figure 6.2).



*Photo 6.3:*  
*Borehole geophysics at the Murtèl-Corvatsch site: The physical variables alongside the boreholes are recorded (e.g.  $\gamma\text{-}\gamma$  - log).*  
*(Photo: D. Vonder Mühll)*

## 6.2 Glaciological Research on the Unteraargletscher

(prepared by A. Bauder and G.H. Gudmundsson)

The Unteraargletscher, one of the most thoroughly studied glaciers of the Alps, sparked the interest of natural scientists as early as the 19th century, and is, for this reason, closely bound with the historical development of important glaciological knowledge and its originators. The names of the mountain peaks in the surrounding area testify to this fact: Agassizhorn ("Agassiz Peak"), Escherhorn, Grunerhorn, Hugisattel ("Hugi Pass"), Scheuchzerhorn and Studerhorn.

Already in the 19th century, Franz Joseph Hugi (1793-1855) visited the Unteraargletscher over numerous summers and recorded the first observations of changes there [Hugi 1830, Hugi 1842]. The beginning of modern experimental research activities can be traced to Louis Agassiz (1807-1873). As part of these activities, J. Wild produced the first topographical map of scientific value of a glacier. Nevertheless, this precise representation of the Unteraargletscher at a scale of 1:10,000 does not include elevation contour lines [Agassiz 1847]. Agassiz and his scientific crew focused on the exact determination of the movement of the glacier surface, while also measuring the climatic parameters of temperature, atmospheric humidity and atmospheric pressure. Methods were em-



*Photo: 6.4:  
Unteraargletscher; View in the direction of the confluence of the Lauteraar and the Finsteraargletschers. (Photo: G. H. Gudmundsson)*

ployed which are still in use today: e.g., measurement with a theodolite of the stakes drilled into the glacier.

In the 20th century, intensive research continued on the Unteraargletscher. Since 1924, under contract of the Oberhasli Power Company (KWO), the glacier tongue has been measured continually and velocities and changes in thickness determined [Flotron, 1924 to present; Bauder, 1992] (Figure 6.4). As part of these investigations, aerial photographs have been taken on a yearly basis since 1969, and digital terrain models compiled from them since the beginning of the 1990s. The temporal and spatial elevational and volume changes can be calculated on the basis of this information.

The geophysical investigation methods of seismology, direct current geoelectricity and radar echo depth sounding have been applied to determine the topography and characteristics of the glacier bed [Knecht and Süssstrunk, 1952; Röthlisberger, 1967; Funk et al., 1994].

In the past few years flow behaviour has been investigated, requiring data from detailed motion measurements taken on the surface and in the boreholes extending down to the glacier bed

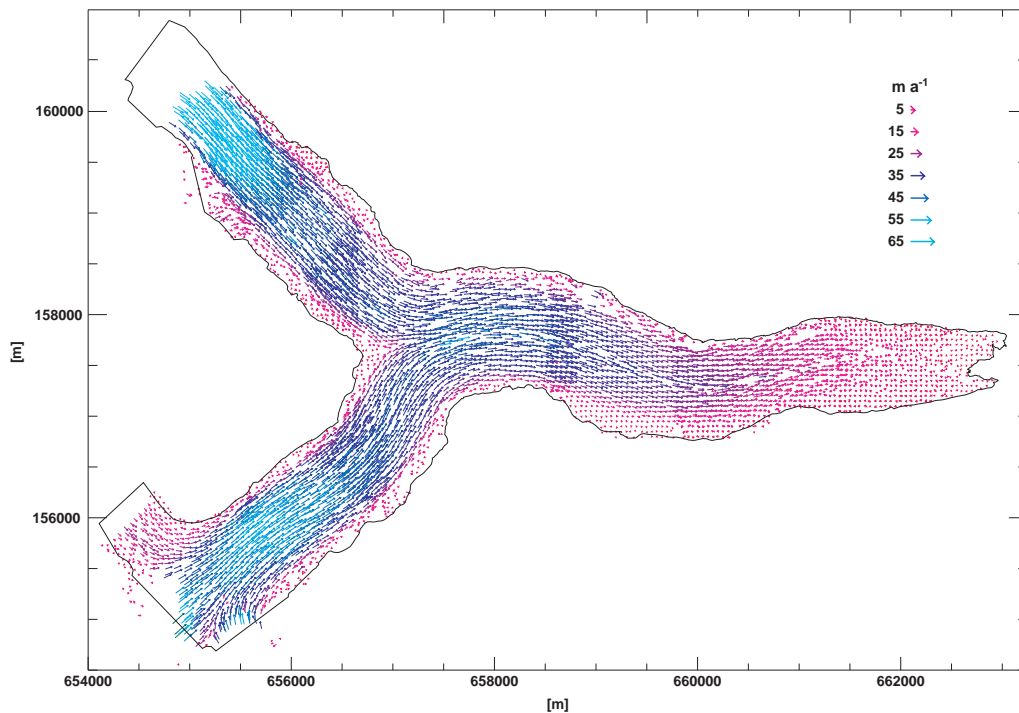


Figure 6.3: Mean annual velocities (in  $m a^{-1}$ ) at the surface of the Unteraargletscher for the period from August 1990 to August 1991, determined using aerial photographs.



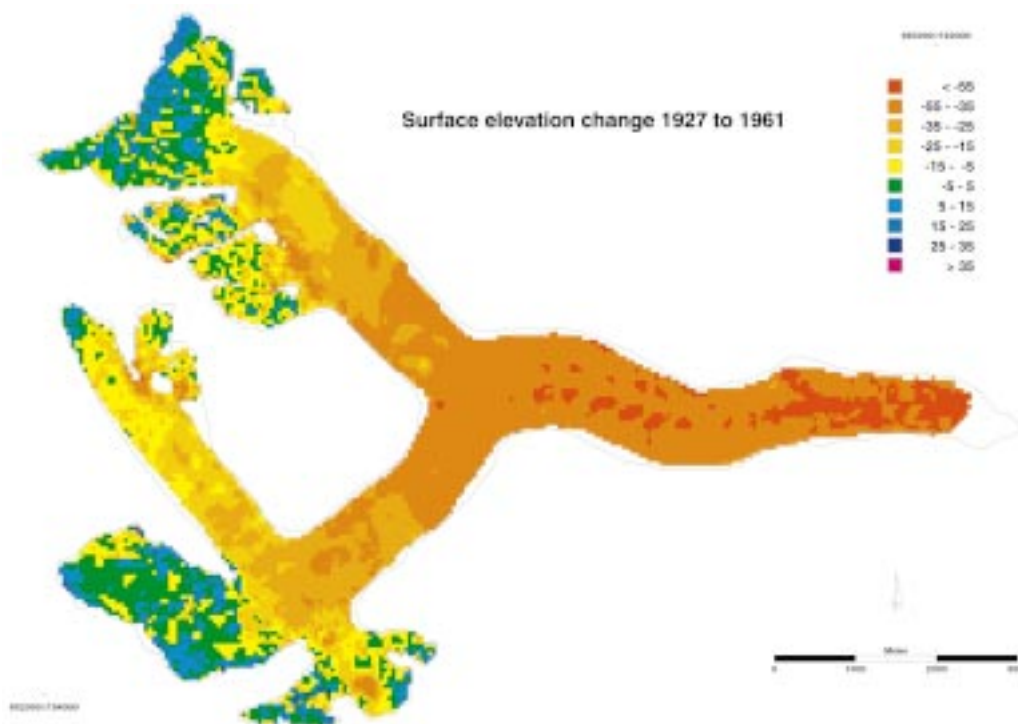


Figure 6.4: Temporal surface elevation change for the period 1927 to 1961 in [m] based on two digitized topographic maps with a mesh-width of 50m [Bauder, 1996].

(Photo 6.5). In combination with the surface layer and glacier bed topography, these data serve as a basis for numerical modelling (Figure 6.5) [Gudmundsson, 1994; 1997 and 1999].

An ongoing, interdisciplinary research project unites the most modern methods of glaciology, geodesy and photogrammetry with the goal of finding a simpler way to determine the mass balance [Gudmundsson and Bauder, 1999]. The connection between mass balance changes and the behaviour of the glacier is of primary interest, especially with a view to better knowledge of climatic variations. This improved knowledge could facilitate a much more comprehensive description of the condition of the glacier than is possible using measurements of the advance and retreat of the glacier tongue. Extremely time-consuming and costly field measurements are required in order to determine the mass balance using the glaciological method. Progress in the photogrammetric evaluation of aerial photographs makes it possible not only to produce digital terrain models, but also to calculate the velocity field of the glacier surface directly and with a high degree of accuracy (Figures 6.3). A "laser scanning" system was introduced in the accumulation areas. This new method delivers reliable results where photogrammetric evaluations reach the error margin. One of the cen-

tral aims is to determine the mass balance by combining remote sensing methods with three-dimensional numerical flow models (Figures 6.5).

At the same time, in-depth studies are underway of the not yet sufficiently understood basal processes and the seasonal variations of flow movement determined in a variety of ways [Iken et al., 1983] (Figure 6.6a-c). The most interesting aspect here is the development of the subglacial runoff system, as a certain influence is expected on the structure of the glacier bed, the basal movement and the flow movement. In addition, the link between the fluctuations in water pressure, the basal resistance and the surface velocity are being investigated.

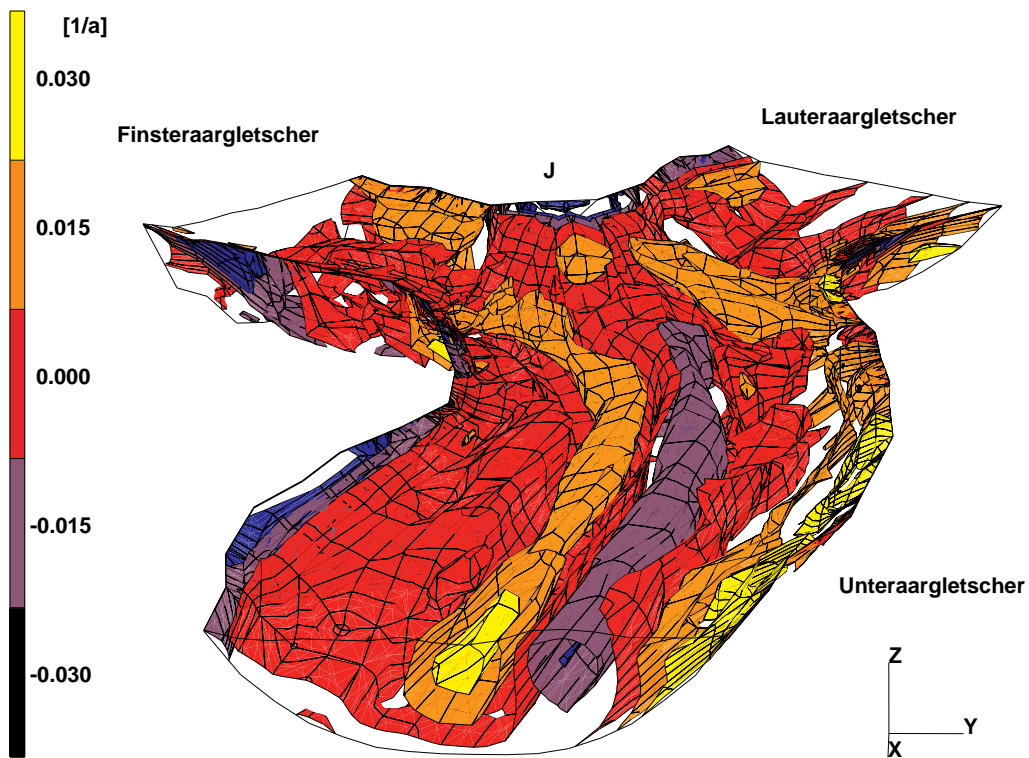


Figure 6.5: Vertical extension rates calculated using a 3-dimensional flow model, shown as iso-surfaces. Negative values reveal the vertical compression, while positive values show the vertical extension of the ice.

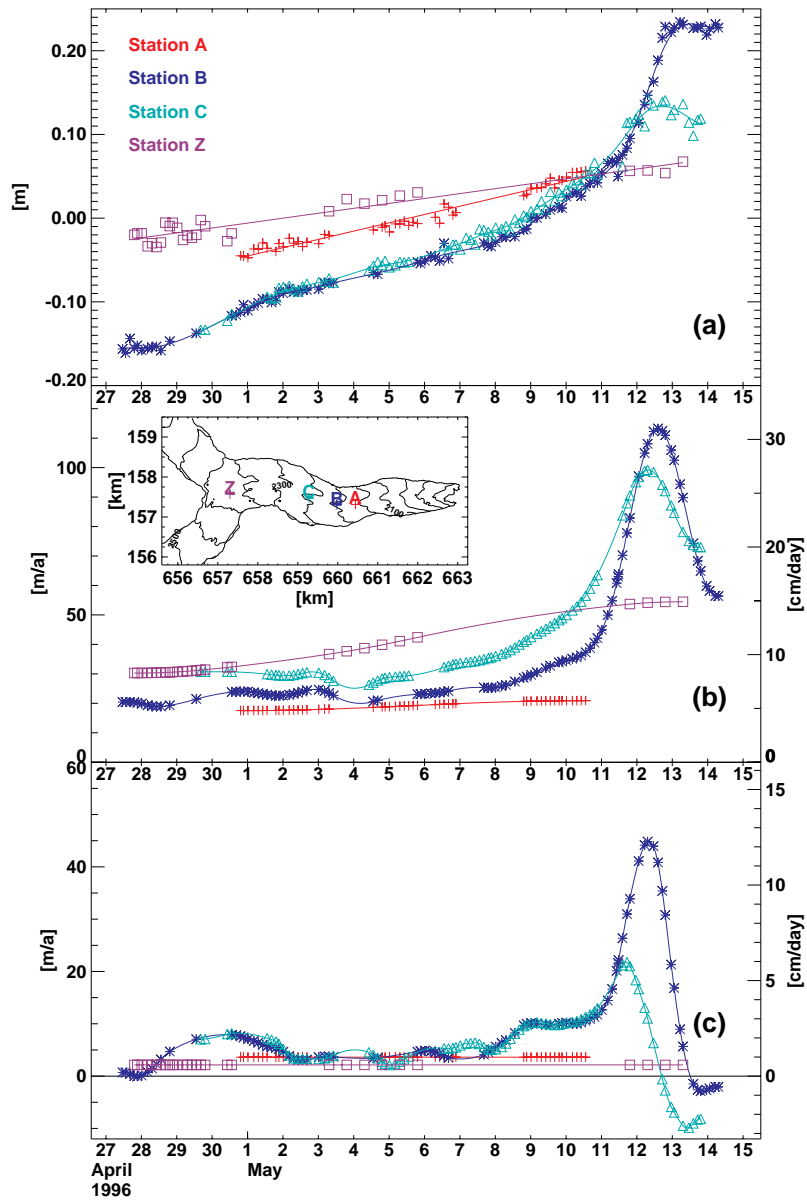


Figure 6.6: An example of high spatial resolution movement measurements at the surface (april, may 1996) using the satellite-based GPS system. This allows the detection of short-term fluctuations, such as the lifting caused by the water at the beginning of the snowmelt in spring. This figure shows, for the four GPS stations (A, B, C and Z): (a) the lifting, (b) the horizontal, and (c) the vertical velocity.



*Photo 6.5:  
Hot-water drilling on the Unteraargletscher.  
(Photo: M. Lüthi)*

## References

- Aellen, M., Kappenberger, G. e Casartelli, G.** (1996). Il ghiacciaio del Basodino (Alpi meridionali Svizzere). *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 18.
- Bauder, A.** (1996). Massenbilanzmodellierungen mit photogrammetrischen Messungen und eismechanischen Berechnungen am Beispiel des Unteraargletschers. *Diploma thesis at Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology*, unpublished, 64 p.
- Agassiz, L.** (1847). Première partie: Nouvelles études et expériences sur les glaciers actuels, leur structure, leur progression et leur action physique sur le sol par. V. Masson, *Paris*, 2 vols.
- Dyurgerov, M. B. and Meier, M. F.** (1997). Year-to-Year fluctuations of global mass balance of small glaciers and their contribution to sea-level changes. *Arctic and Alpine Research*, 29(4), 392-402.
- Flotron AG** (1996, 1997). Vermessung der Aaregletscher. *Bericht für die Kraftwerke Oberhasli AG*, unpublished.
- Flotron, A.** (1924 to present). Vermessung der Aaregletscher. *Bericht für die Kraftwerke Oberhasli AG*, unpublished.
- Forel, F. A.** (1895). Les variations périodiques des glaciers. *Discours préliminaire, Archives des sciences physiques et naturelles, Genève*, 34, 209-229.
- Funk, M., Gudmundsson, G.H. and Hermann, F.** (1994). Geometry of the glacier bed of the Unteraargletscher, Bernese Alps, Switzerland. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 30, 1-8.
- 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), 41-56.
- Gudmundsson, G.H.** (1994). Converting glacier flow - a case study: the Unteraar Glacier. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau und Glaziologie*, 131, 119 p.
- Gudmundsson, G.H.** (1997). Ice deformation at the confluence of two glaciers investigated with conceptual map-plane and flowline models. *Journal of Glaciology*, 43(145), 537-547.
- Gudmundsson, G.H., Iken, A. and Funk, M.** (1997). Measurements of ice deformation at the confluence area of Unteraargletscher, Bernese Alps, Switzerland. *Journal of Glaciology*, 43(145), 548-556.
- Gudmundsson, G.H.** (1999). A three-dimensional numerical model of the confluence area of Unteraar Glacier, Bernese Alps, Switzerland. *Journal of Glaciology*, 45 (150), 219-230.

- Gudmundsson, G.H. and Bauder, A.** (1999). Towards an indirect determination of the mass balance distribution of glaciers using kinematic boundary conditions. *Geografisk Annaler*, 81A (4), 575-583.
- Haerberli, W.** (1998). Historical evolution and operational aspects of worldwide glacier monitoring. In: *Into the second century of world wide glacier monitoring: prospects and strategies* (eds. W. Haerberli, M. Hoelzle and S. Suter): studies and reports in hydrology, IAHS, 56, 35-51.
- Haerberli, W. and Hoelzle, M.** (1995). Application of inventory data for estimating characteristics of and regional climate-change effects on mountain glaciers: a pilot study with the European Alps. *Annals of Glaciology*, 21, 206-212.
- Haerberli, W., Huder, J., Keusen, H.-R., Pika, J. and Röthlisberger, H.** (1988). Core drilling through rock glacier-permafrost. *Fifth International Conference on Permafrost, Trondheim, Norway. Proceedings*, 2, 937-942.
- Hoelzle, M. und Vonder Mühl, D.** (1997). Die Gletscher der Schweizer Alpen im Jahr 1995/96. Auszug aus dem 116. Bericht der GK/SANW. *Zeitschrift "Die Alpen"* 10/1997, 26-39.
- Hoelzle, M., Vonder Mühl, D., Bauder, A. und Gudmundsson, G.H.** (1998). Die Gletscher der Schweizer Alpen im Jahr 1996/97. Auszug aus dem 117. Bericht der GK/SANW. *Zeitschrift "Die Alpen"* 10/1998, 30-41.
- Hugi, F.J.** (1830). Naturhistorische Alpenreise. *Amiet-Lutiger, Solothurn*.
- Hugi, F.J.** (1842). Über das Wesen der Gletscher. *J.G. Cotta'scher Verlag, Stuttgart und Tübingen*.
- IAHS(ICSI) - UNESCO - UNEP** (1991). Glacier mass balance bulletin no. 1 (1988-1989). *World Glacier Monitoring Service* (Haerberli, W. and Herren, E. eds.), *ETH Zurich*, 1, 70 p.
- IAHS(ICSI) - UNESCO - UNEP** (1993a). Fluctuations of Glaciers 1985-1990. Eds. Haerberli, W. and Hoelzle, M., 6, 322 p.
- IAHS(ICSI) - UNESCO - UNEP** (1993b). Glacier mass balance bulletin no. 2 (1990-1991). *World Glacier Monitoring Service* (Haerberli, W., Herren, E. and Hoelzle, M. eds.), *ETH Zurich*, 2, 74 p.
- IAHS(ICSI) - UNESCO - UNEP** (1996). Glacier mass balance bulletin no. 3 (1992-1993). *World Glacier Monitoring Service* (Haerberli, W., Hoelzle, M. and Bösch, H. eds.), *ETH Zurich*, 3, 80 p.
- IAHS (ICSI) - UNEP - UNESCO** (1996). Glacier mass balance bulletin no. 4 (1996-1997). *World Glacier Monitoring Service* (Haerberli, W., Hoelzle, M. and Suter, St. eds.), *ETH Zurich*, 4, 89 p.
- IAHS(ICSI) - UNESCO - UNEP** (1998). Fluctuations of Glaciers 1990-1997. (Haerberli, W., Hoelzle, M., Suter, St. and Frauenfelder, R. eds.), 7, 296 p.

- IAHS (ICSU) - UNEP - UNESCO** (1999). Glacier mass balance bulletin no. 5 (1996-1997). *World Glacier Monitoring Service* (Haeberli, W., Hoelzle, M. and Frauenfelder, R. eds.), *ETH Zurich*, 4, 89 p.
- Iken, A., Röthlisberger, H., Flotron, A. and Haeberli, W.** (1983). The uplift of the Unteraarglescher at the beginning of the melt season - a consequence of water storage at the glacier bed. *Journal of Glaciology*, 29, 101, 28-47.
- IPCC** (1996). Climate change 1995 - Contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental-Panel on Climate Change (Houghton, J.T., Meiria Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A. and Maskell, K. eds.), *Cambridge University Press*.
- Jóhannesson, T., Raymond, Ch. and Waddington, E.** (1989). Time-scale for adjustment of glaciers to changes in mass balance. *Journal of Glaciology*, 35 (121), 355-369.
- Kappenberger, G., Aellen M. e Casartelli, G.** (1995). Il ghiacciaio del Basodino. *Nimbus* 8.
- Kappenberger, G. and Aellen, M.** (1998). The Basodino Glacier (Ticino, Switzerland) and its variations. *Convegno Internazionale die Meteorologia Alpina, (CIMA-ITAM), Torino, 9, 163-166.*
- Kasser, P., Aellen, M. und Siegenthaler, H.** (1986). Die Gletscher der Schweizer Alpen 1977/78 und 1978/79. 99. und 100. Bericht (Jahrbuch) der GK/SNG, 288 p.
- Knecht, H. und Süsstrunk, A.** (1952). Bericht über die seismischen Sondierungen der schweizerischen Gletscherkommission auf dem Unteraargletscher, 1936 - 1950, 512, unpublished.
- LHG** (1995-97). Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz. Hrsg. *Landeshydrologie und -geologie, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Verlag EDMZ Bern.*
- Maisch, M., Wipf, A., Denneler, B., Battaglia, J. und Benz, Ch.** (1999). Die Gletscher der Schweizer Alpen - Gletscherhochstand 1850, Aktuelle Vergletscherung, Gletscherschwund-Szenarien. Schlussbericht NFP 31, *vdv Verlag, ETH Zürich*, 373 p.
- Müller, H. und Kappenberger, G.** (1991). Claridenfirn - Messungen 1914-1984. *Zürcher Geographische Schriften*, 40, 79 p.
- Ohmura, A., Wild, M. and Bengtsson, L.** (1996). Present and future mass balance of the ice sheets simulated with GCM. *Annals of Glaciology*, 23, 187-193.
- Peschke, W.** (1998). Erste Ergebnisse einer Auswertung der Längenänderungsdaten der Schweizer Messnetzgletscher, *Praktikumsbericht an der VAW/ETHZ*, unpublished.
- Röthlisberger, G.** (1997). Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1996. *wasser, energie, luft*, 89. Jahrgang, 1/2. 1-7.
- Röthlisberger, H.** (1967). Recent DC resistivity soundings on Swiss glaciers. *Journal of Glaciology*, 6 (47), 607-621.

THE SWISS GLACIERS 1995/96 AND 1996/97

- SMA** (1995-97a). Monatlicher Witterungsbericht der SMA, September 1995 - Oktober 1997.
- SMA** (1995-97b). Täglicher Wetterbericht der SMA, September 1995 - Oktober 1997.
- SMA** (1995-97c). Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen auf den Meteorologischen und Regenmess-Stationen der Schweiz. *Quartalshefte der SMA*, 3/1995 - 4/1997.
- SMA** (1995-97d). *Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt*, 132.- 134. Jg, 1995 - 1997.
- UNESCO** (1998). Into the second century of worldwide glacier monitoring: prospects and strategies. *Studies and reports in hydrology*. (Haeberli, W., Hoelzle, M. and Suter, S. eds.) 56, 227 p.
- VAW** (1997). Gletscherveränderungen im Val de Bagnes 1966-1996. 55.04.7903 Bericht für die "Force Motrice de Mauvoisin SA", unpublished.
- Vieli, A., Funk, M. und Blatter, H.** (1997). Griesgletscher. Berechnungen des Gletscherfließens und Perspektiven für die Zukunft. *wasser, energie, luft*, 89 (5/6), 107-114.
- Vonder Mühl, D.** (1993). Geophysikalische Untersuchungen im Permafrost des Oberengadins. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, 122, 222 p.
- Vonder Mühl, D., Stucki, Th. und Haeberli, W.** (1998). Borehole temperatures in Alpine permafrost: A ten years series. *Proceedings of the VII International Conference on Permafrost, 1998, Yellowknife, Canada*, 57, 1089-1095.
- Wagner, S.** (1996). Dreidimensionale Modellierung zweier Gletscher und Deformationsanalyse von eisreichem Permafrost. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, 146, 135 p.
- WMO** (1995). Annual bulletin on the climate in WMO region VI - Europe and Middle East - 1995. *Coordinated by Deutscher Wetterdienst, Germany*, 43.
- WMO** (1997). WMO statement on the status of the global climate in 1996. *World Meteorological Organization*. WMO, 858 (11).
- Zuo, Z. and Oerlemans, J.** (1997). Contribution of glacier melt to sea-level rise since AD 1865: a regionally differentiated calculation. *Climate Dynamics*, 13, 835-845.



## Acknowledgement

The Glaciological Commission again received solid support in this 117/118<sup>th</sup> measuring period from its reliable team of observers. Sincere thanks for their cooperation are extended to: the forest workers from the cantons of Berne, Glarus, Grisons, Obwalden, St. Gallen, Uri, Tessin, Waadt and Wallis, the staff of the power stations Aegina, Mattmark, Mauvoisin and Oberhasli, all the individual helpers, the Federal Office for Topography, the photogrammetrical firms Flotron AG (Meiringen) and Leupin AG (Gümligen). Climate, snow and discharge data were obtained by the Swiss Meteorological Institute, the Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research and the Federal Office for Hydrology and Geology. The Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology at the Federal Institute of Technology (ETH), the Geographical Institut of the University of Zurich and many colleagues there provided valuable contributions to the publication of this glaciological report.

Many thanks to D. Vonder Mühl, A. Bauder and G.H. Gudmundsson who have contributed substantial parts of the 117/118<sup>th</sup> reports, to G. Kappenberger who has collected and prepared the data of the Claridengletscher as well as the data of the ghiacciaio del Basodino together with M. Aellen. E. Kraetzer and B. Nedela prepared carefully the drawings and a special thank goes to Susan Braun-Clark for translating the report.

THE SWISS GLACIERS 1995/96 AND 1996/97

# Appendix

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

### 1 Rhone

**1996:** Vermessungsflug am 23.10.96. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - M. Hoelzle).

**1997:** Vermessungsflug am 19.9.97. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - M. Hoelzle).

### 3 Gries (Ägina)

**1996:** Vermessungsflug am 30.9.96. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - M. Hoelzle).

**1997:** Vermessungsflug am 17.9.97. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - M. Hoelzle).

### 4 Fiescher

**1997:** Das Gletschertor auf der Ostseite des Zungenendes ist nahezu kreisförmig im Grundriss (ca. 30 m) und im Scheitel des Gewölbes 14 m hoch (M. Aellen).

### 5 Grosser Aletsch

**1996:** Vermessungsflug am 23.10.96. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - M. Hoelzle).

**1997:** Vermessungsflug am 15.9.97. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - M. Hoelzle).

### 6 Oberaletsch

**1997:** Der Bachaustritt am schuttüberdeckten Zungenende weist kein Torgewölbe auf (M. Aellen).

### 7 Kaltwasser

**1997:** Bei Punkt 1 ist eine grosse Mulde, welche neu vereist ist (M. Borter).

#### **10 Schwarzberg**

**1996:** Vermessungsflug am 30.09.96. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - M. Hoelzle).

**1997:** Vermessungsflug am 10.10.97. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - M. Hoelzle).

#### **13 Fee**

**1997:** Der Gletscher schwindet zur Zeit auf seiner ganzen Breite sehr stark (T. Burgener).

#### **14 Gorner**

**1996:** Ca. 80-100 m vom Gletschertor einwärts ist ein Durchgang entlang des Wassers möglich, 6-8 m hoch ausgehöhlt (S. Walther).

**1997:** Bei weiterem starkem Rückzug wird es zunehmend schwierig, das Gletschertor zu erreichen. Die Messung sollte erst nach der ersten Frostperiode durchgeführt werden, wegen der Zugänglichkeit (S. Walther).

#### **16 Findelen**

**1996:** Vermessungsflug am 30.9.96. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (VAW - M. Hoelzle).

#### **17 Ried**

**1997:** Die Längenänderung von 1992-1996 ist nach Umstellung des Fixpunktes nicht -314 m wie im Bericht 'Die Alpen' 10/97 publiziert wurde, sondern - 58.8 m (VAW - D. Vonder Mühl).

#### **19 Turtmann**

**1996:** Sehr gute Messverhältnisse. Die Frontmoräne wurde etwas aufgeschoben (P. Tscherrig).

**1997:** Sehr gute Messverhältnisse. Beim Gletschertor sind im Frühsommer grosse Teile abgebrochen (P. Tscherrig).

#### **21 Bella Tola**

**1996:** Sehr gute Messverhältnisse. Der Gletscherrand, welcher vorher über eine Felskuppe hing, ist dieses Jahr massiv abgeschmolzen (A. Tscherrig).

**1997:** Sehr gute Messverhältnisse. Der ganze Kessel ist völlig ausgeapert. Der Gletscherfuss ist absolut frei von Steinen und Altschnee (A. Tscherrig).

**24 Moiry**

**1996:** Le glacier était recouvert de 20 cm de neige le jour de la mensuration. Les valeurs de variations sont des estimations (M. Barmaz).

**25 Ferpècle**

**1997:** La distance actuelle n'a pas été mesurée précisément, car l'approche du glacier est difficile (F. Pralong).

**29 Cheillon**

**1996:** La couche de neige fraîche (25 cm) qui recouvre le glacier, rend difficile le travail de mensuration. Néanmoins, après quelques recherches les points ont été retrouvés. La constatation que l'on peut en déduire, est que le glacier recule chaque année. L'épaisseur de la langue glaciaire diminue également d'année en année (St. Seppey).

**1997:** Un nouveau point 4 avec une distance à la glace de 28 m (St. Seppey).

**30 En Darrey**

**1996:** Le neige fraîche et le névé recouvre le point no. 2 (Ch. Vuissoz).

**31 Grand-Désert**

**1997:** De grands rochers apparaissent sur le front du glacier, l'épaisseur de la langue glacière a fortement diminué. De part la grandeur du lac, les points 1, 2, 3 ont été estimés à partir des points A et B (F. Vouillamoz).

**32 Mont Fort (Tortin)**

**1997:** Les éboulis recouvrent la grande partie de la langue du glacier et il est difficile d'estimer la variation surtout sur les points B-3-2. On relève encore quelques névés sur le devant du grand rocher en face des points 2-3. Les mesures ont été prises en compte à partir de ces derniers (F. Vouillamoz).

**33 Tsanfleuron**

**1996:** Il semble que la couche diminue chaque année, les cassures sont plus grandes que l'année passée (J.-D. Brodard).

**1997:** Les cassures se sont agrandies et multipliées. L'affaissement est très important (estimation ca. 4 m) (J.-D. Brodard).

### 34 Otemma

**1996:** Les surprises que j'avais prévues lors des relevés de 1995 se sont révélées exactes et d'après l'aspect du glacier cette année, le retrait va encore s'accroître. Le front autour des émissaires centraux et secondaires a énormément perdu de masse (J.-J. Chabloz).

**1997:** Il existe une très forte ablation de la rive droite qui est pratiquement plate. La partie centrale se creuse toujours plus et va certainement s'effondrer derrière les cônes de glace couverts de sable et de graviers. La rive gauche a abandonné une langue de glace couverte de débris rocheux (J.-J. Chabloz).

### 35 Mont Durand

**1996:** Les points 3/83 et 4/85 sont partiellement recouverts de débris rocheux. J'ai marqué un nouveau point 7/96 en retrait, dans l'axe du point 4/85. Contrairement aux mesures, la crue est constante. Le rognon sur lequel se trouvent les points 3/83 et 4/85 retient le front glaciaire qui progresse d'autant mieux à gauche et à droite (J.-J. Chabloz).

**1997:** Le front est en léger retrait, mais les deux rives sont en progression. Au centre, le gros creux est toujours plus profond. Il y a beaucoup de débris rocheux sur toute la partie inférieure du glacier et vu la pente, les mesures sont assez exposées (J.-J. Chabloz).

### 36 Breney

**1996:** Le front est toujours soumis à des variations bizarres. Certaines mesures augmentent et d'autres diminuent. Cependant, l'épaisseur du front s'abaisse très sérieusement (J.-J. Chabloz).

**1997:** La rive droite s'aplatit aussi de plus en plus ainsi que la partie centrale. En amont du portail central (axe 19/86) un plateau glaciaire d'environ 50 m suivi d'un portail en formation sera, je pense, la surprise de l'année prochaine. Rive gauche, un énorme monticule de glace couvert de débris rocheux finit le glacier - axe 17/83. De plus, cette année il y a beaucoup d'eau sur et sous la glace (J.-J. Chabloz).

### 37 Giétro

**1996:** Vermessungsflug am 30.9.1996 im Auftrag der Kraftwerke Mauvoisin (FMM), photogrammetrisch ausgewertet durch Firma Leupin AG, Gümligen (VAW - M. Hoelzle).

**1997:** Vermessungsflug am 15.9.1997 im Auftrag der Kraftwerke Mauvoisin (FMM), photogrammetrisch ausgewertet durch Firma Leupin AG (VAW - M. Hoelzle).

### 38 Corbassière

**1997:** In diesem Jahr wurde die Messmethode umgestellt auf Photogrammetrie. Dabei wurden die Koordinaten des bisherigen Basispunktes aus dem Luftbild bestimmt auf: 588726/95565 mit einer Höhe von 2'170 m ü. M. Das Luftbild (Vermessungsflug am 15.9.1997) wurde durch H. Bösch VAW/ETHZ ausgewertet (VAW - M. Hoelzle).

**43 Trient**

**1996:** Si le recul se poursuit encore pendant 5 ans à la même vitesse (en distance et en épaisseur), le front se retrouvera à sa position minimale de 1961 (P. Mercier).

**1997:** Le 30.06.97, mesure à la chevillère suivant le profil: recul depuis 1996 de -15 m. Le 25.10.97, encore une fois mesure à la chevillère suivant le profil: recul depuis 1996 de -55 m. Donc, suivant le profil, recul de 40 m en 4 mois (P. Mercier).

**45 Grand Plan Nivé**

**1997:** Les points 5 et B120 sont dans une zone très ensoleillée avec faible pente et l'épaisseur de neige, ce qu'explique la forte diminution du glacier sur ces deux points. Les points 3/2/1/II sont dans une zone avec forte pente et grosse épaisseur de glace et de neige et la présence d'un gros "bourrelet" de pierres instables sur la langue du glacier, ce qu'explique la forte poussée du glacier et la stabilité qu'aura parfaite du glacier sur ces points (J.-P. Marlétaz).

**47 Sex Rouge**

**1996:** En juillet, je me suis rendu au Scex Rouge pour constater que, s'il y avait encore des névés dans la zone des mesures, il n'y avait pas de glace et la diminution du glacier se confirme. Donc pas de changement par rapport aux années précédentes. Points 02 GL 120 et 01 GL 121 comme en 1995 (J.-P. Besençon).

**1997:** Le glacier pose un problème. En fin de l'été 1997 la disparation totale de la glace est observée. Elle devrait probablement disparaître si l'été 1998 est chaud et sec. Il faut établir une nouvelle ligne de mesure, plus haut et plus au sud-ouest (J.-P. Besençon).

**48 Prapio**

**1996:** Accompagné par le garde forestier Kaeslin, nous avons tenté de nous rendre sur place le 6 septembre, mais nous n'avons pas réussi, les conditions, verglas, neige, vents violents et basse température rendant l'expédition trop dangereuse. Un guide rencontré sur place nous a déconseillé de descendre sur Prapioz. Une deuxième tentative le 10 octobre, conditions encore plus mauvaises. Il n'y a donc pas eu de mesure cette année. Selon observation faite à la jumelle depuis l'autre versant de la vallée, il me semble qu'il n'y a pas de changement, mais seule une mesure sur place pourrait confirmer cette hypothèse (J.-P. Besençon).

**50 Oberaar**

**1996:** Vermessungsflug am 23. August 1996. Photogrammetrische Auswertung durch Firma Flotron AG, Meiringen. Der mittlere Rückzug der Gletscherzunge wird aus dem Eisflächenverlust berechnet und beträgt 0.8 m. Der grösste Rückgang geschah wiederum am linken Gletscherrand über 80 m mit einem mittleren Betrag von 10 m. In der übrigen Gletscherzunge ist die Verschiebung klein. Zur Zeit der Aufnahme war die Eiswand über die ganze Gletscherbreite nahezu senkrecht. Die Höhe beträgt beim Gletschertor etwa 9 m, gegen den rechten Glet-

scherrand hin nimmt sie ab bis auf etwa 3 m. Der Seespiegel überschritt 1996 insgesamt viermal die Kote 2299.5 m ü.M. Der tiefste Punkt der Gletscherzunge betrug 2299 m ü.M. Demzufolge ist abzuschätzen, dass der See in den folgenden Tagen die Gletscherzunge erreichte (Grundlage: KWO): vom 22.9.-24.9.; 29.9.-10.10.; 13.10.-14.10. und vom 27.10.-30.10.1996 (A. Flotron).

**1997:** Vermessungsflug am 15. August 1997. Photogrammetrische Auswertung durch Firma Flotron AG. Der mittlere Rückzug der Gletscherzunge beträgt im Berichtsjahr 5.4 m. Der grösste Rückzug geschah wiederum am linken Gletscherrand über 80 m mit einem mittleren Betrag von 10 m. In der übrigen Gletscherzunge ist die Verschiebung klein. Zur Zeit der Aufnahme war die Eiswand gegenüber dem letzten Jahr geneigter. Die Höhe beträgt beim Gletschertor etwa 7 m, gegen den rechten Gletscherrand hin nimmt sie ab, bis sie in das Gletschervorfeld eintaucht. Der Seespiegel überschritt 1996 und 1997 mehrmals die Kote 2299.5 m ü.M. Der tiefste Punkt der Gletscherzunge betrug 2299 m ü.M. Der See erreichte 1997 an 43 Tagen die Gletscherzunge, 1996 an 17 Tagen (A. Flotron).

## 51 Unteraar

**1996:** Vermessungsflug am 23. August 1996. Photogrammetrische Auswertung durch Firma Flotron AG, Meiringen. Der mittlere Rückzug der Gletscherzunge beträgt 24.8 m. Die grösste Abschmelzung geschah wiederum, wie in den vergangenen Jahren, an der südexponierten Eisflanke links des Gletschertors, über ca. 350 m Länge. Der Rückgang beträgt an dieser Stelle bis zu etwa 20 m. Rechts des Gletschertors, bis zu der nordexponierten Flanke im Gebiet des geschiefbefreien, steilen Eishanges ist der Rückzug wie beim übrigen Zungenrand klein. Einzig eine Stelle, beim Ende des geschiefbefreien Eishanges, zeigt ein Rückgang von 30 m. Der übrige Zungenrand ist wenig verändert. Der Höhenverlust im Zungengebiet ist beträchtlich. Im stark zerklüfteten Gebiet hinter dem Gletschertor sind Einbrüche bis zu 17 m festzustellen. Der Eismassenverlust im Zungengebiet ist entsprechend gross mit 0.9 Mio.m<sup>3</sup> (A. Flotron).

**1997:** Vermessungsflug am 15. August 1997. Photogrammetrische Auswertung durch Firma Flotron AG. Der mittlere Rückzug der Gletscherzunge beträgt 30.8 m, gerechnet aus dem Eisflächenverlust. Die grösste Abschmelzung geschah wiederum an der südexponierten Eisflanke links des Gletschertors, über ca. 350 m Länge. Der Rückgang beträgt an dieser Stelle bis zu etwa 40 m. Diese Maximalstelle liegt unmittelbar beim Gletschertor. Dort wurde ein der Zunge vorgelagerter Eishügel definitiv als geschmolzen interpretiert. Im nördlichen Zungenrandbereich betrug der Rückgang sogar 130 m. Rechts des Gletschertors, bis zu der nordexponierten Flanke, im Gebiet des geschiefbefreien, steilen Eishanges, ist der Rückzug wie beim übrigen Zungenrand kleiner. Einzig beim geschiefbefreien Eishang beträgt der Rückgang 30 m. Der übrige Zungenrand ist wenig verändert. Der Höhenverlust im Zungengebiet ist beträchtlich. Im stark zerklüfteten Gebiet hinter dem Gletschertor sind Einbrüche bis zu 16 m festzustellen. Entsprechend gross ist mit 0.9 Mio. m<sup>3</sup> auch der Eismassenverlust im Zungengebiet (A. Flotron).



**53 Stein**

**1997:** Die Messung auf der rechten Seite (DIII) wurde nicht mehr vorgenommen, weil dort der Gletscher zu stark mit Steinblöcken überdeckt ist. Auch auf die Messung auf der linken Seite wurde verzichtet, weil sie mit zunehmendem Rückzug des Gletschers zu ungenau wird (R. Straub).

**54 Steinlimmi**

**1996:** Infolge Verschiebung und Zusammenbruches des Gletschertores ist die Gletscherzunge vor allem in der Mitte stark zurückgeschmolzen (-33 m) (R. Straub).

**1997:** Das Vorgelände wurde in den letzten Jahren vor allem durch militärische Aktivitäten stark verändert (R. Straub).

**57 Oberer Grindelwald**

**1996:** Der Gletscher hat einen Sprung zurück gemacht. Eine genau Messung konnte nicht gemacht werden, da es zu heikel war, in die Schlucht vorzudringen. Deshalb wurden ab dem Fixpunkt 95/2 zwei weitere Fixpunkte aufgesprayt, Punkt 96/1 und beim Knick zur Schlucht Punkt 96/2. Wenn der Rückzug so weitergeht, werden bei der nächsten Messung nur noch Fotos vom Milchbach und dann vom Felsnollen aus gemacht werden. Auch die Messung wird dann vom Felsnollen ausgemacht werden müssen (H. Boss).

**1997:** Der Gletscher ist nicht stark zurückgegangen. Der Rückzug konnte nur geschätzt werden, da die Messung in der Schlucht zu riskant ist (H. Boss).

**58 Unterer Grindelwald**

**1997:** Dank den Vergleichsansichten von H. Boss (Bilder vom 23.10.96 und 26.10.97) konnte die Längenänderung qualitativ abgeschätzt werden. Der Gletscher hat sich auch dieses Jahr leicht zurückgezogen (VAW - M. Hoelzle).

**59 Eiger**

**1996:** Das Wetter war zum Messzeitpunkt schön und es lag kein Schnee ausser auf dem Gletscher. Die Messlinie B verläuft die letzten 9 m im Abstand von 1.5 m parallel zur Gletscherzunge, bis sie auf Eis trifft. Die Gletscherzunge hat sich, wie bereits in den letzten Jahren, zurückgezogen. Die Mächtigkeit der Zunge hat stark abgenommen, was auf einen weiteren Rückzug schliessen lässt. Das Zungenende ist partiell stark unterhöhlt. Neulage der Punkte B', C', D', E' und F', so dass bei weiteren Rückzügen effizienter gemessen werden kann (R. Zumstein).

**1997:** Genereller aber im Betrag sehr unterschiedlicher Rückgang. Die Messung beim Punkt B ist in Zukunft gefährdet (Messrichtung ist tangential). Alle Punkte wurden neu eingefärbt und mit einem Steinmannli signalisiert. Der Gletscher ist im rechten unteren Bereich sehr flach und zerklüftet. Partienweise ist zudem die Gletscherzunge stark unterhöhlt. Die Messung beim

Punkt F ist auf der anderen Seite des schluchtartig ausgebildeten Gletscherbaches neben dem Gletschertor (R. Zumstein).

#### 60 Tschingel

**1996:** Es waren schlechte Messbedingungen (heftiger Regen und starke Windböen). Teilweise lag Schnee im Zungenbereich. In der Zungenmitte konnte nur ein leichter Schwund festgestellt werden. Im Gegensatz zum Jahr 1995 war ein verstärkter Schwund an den Rändern zu verzeichnen. Die Zungenmächtigkeit scheint unverändert. Der neue Abfluss ist tief eingefressen. Der Hüttenwart der Mutthornhütte meldet eine weitere Abnahme der Eisdicke im Hüttenbereich, so dass er erstmals von der Hütte zum Petersgrat sieht (ebenso einzelne Berggipfel (R. Zumstein).

**1997:** Es konnten Spuren von heftigen Sommergewittern festgestellt werden, welche bis zu 3 m tiefe Gräben verursachten (R. Zumstein).

#### 62 Schwarz

**1996:** Der Punkt g war wegen Überschüttung nicht messbar, hingegen konnte der Punkt f wieder gemessen werden. Bei f ist der Gletscher innert zwei Jahren um 8 m zurückgegangen (U. Vogt).

**1997:** Der Schutt liegt mehrere Meter hoch über der ganzen Breite der Gletscherzunge und schützt diese somit vor dem Abschmelzen. Bei Punkt g wurde das sichtbare Eis aufgenommen. Hier können jedoch wegen den Überschüttungen Unsicherheiten auftreten. Seit 1994 konnten einige Punkte erst dieses Jahr gemessen werden, dabei wurde festgestellt, dass der Messwert aus dem Jahre 1994 um -5 m zu korrigieren ist dass heisst also von -43.3 m auf -38.3 m (U. Vogt).

#### 63 Lämmern

**1996:** Der Gletscher zieht sich nun über den markanten Steilaufschwung zurück. Der grosse Rückzug lässt sich daraus erklären, dass das Zungenende in den letzten Jahren stark abgeflacht war (U. Vogt).

**1997:** Das Vorgelände wird steiler. Es wird durch aufsteigende Felsstufen geformt. A' wurde um 114 m vorverlegt und mit A'+183 m markiert. B' wurde um 78 m vorverlegt und lautet nun b'+140 m. c' konnte wegen nassen Felsen noch nicht vorverlegt werden (U. Vogt).

#### 64 Blümlisalp

**1996:** Neue Messpunkte genau eingerichtet und gelb markiert. Messpunkt A: Kürzung um 60 m; Messpunkte B und C: Kürzung um 65 m und Messpunkt D: Kürzung um 105 m. Deutliche Abnahme der gesamten Gletscherhöhe und ausgeprägter seitlicher Schwund, besonders beim Messpunkt A (U. Fuhrer).

**1997:** Weitere starke Abnahme der ganzen Gletscherdicke. Bei Punkt D ist ein kleiner neuer See entstanden (U. Fuhrer).

**66 Tiefen**

**1997:** Am nördlichen Rand zielt die Messlinie bei Punkt 93 praktisch am Eis vorbei, sodass dieser Punkt nicht mehr gemessen wurde. Als Ersatz wurde neu Punkt 97 eingerichtet. Dieser liegt südlich von Punkt 95. Da der Gletscher hier stark von Schutt überdeckt ist, wird der Abschmelzprozess in diesem Bereich wesentlich verzögert (J. Marx).

**67 Sankt Anna**

**1997:** Der grösste Rückzug ist bei den Punkten GL78/92. Da sich der Messpunkt im Randbereich befindet, trägt das seitliche Abschmelzen wesentlich zur Längenänderung bei. Punkt GL77 erlaubt keine direkte Sicht mehr zum Gletscher. Aus diesem Grunde wurde er durch den rund 20 m seitlich liegenden Punkt 95 ersetzt. Dieser liegt praktisch im Austrittsbereich des Hauptbaches. Die Messung ab Punkt 86 wurde nicht mitberücksichtigt, da in diesem Bereich ein durch die Skipistenpräparierung verursachtes Firnfeld liegt (J. Marx).

**68 Kehlen**

**1997:** Die Punkte 1997 und 1997A sind neu eingerichtet worden. Die Längenänderung bezieht sich auf die im Vorjahr eingerichteten Punkte 1996 und 1996A. Bei Punkt 1996A ist ein Messingbolzen, welcher während der Vorstossperiode von 1968 bis 1988 überfahren wurde. Wahrscheinlich handelt es sich um den Punkt GL72 oder GL73 (J. Marx, M. Planzer).

**70 Damma**

**1997:** Der südlich der Moräne liegende Punkt 1996 konnte erstmals für die Berechnung der Längenänderung verwendet werden. Die Messpunkte liegen alle auf Steinblöcken (J. Marx, M. Planzer).

**71 Wallenbur**

**1997:** Fortsetzung der Tendenz der letzten Jahre: Die Gletscherwand wird kleiner und über dem Gletscherbach fällt der Gletscher leicht ein (P. Kläger, J. Marx).

**72 Bruni**

**1997:** Der Gletscher wurde seit 1990 zum erstenmal wieder besucht. Die 1990 im Talgrund noch vorhandene Toteis/Firnscholle hat sich ganz aufgelöst. Die von grossen Querspalten durchsetzte Gletscherstirn hat sich soweit abgebaut, dass sich im Talgrund keine grösseren Eismassen mehr ansammeln können. In diesem Bereich ist die Stirnpartie nach wie vor nicht zugänglich. Die 1990 im östlichen Teil eingerichteten Messpunkte 1-5 wurden alle wieder gefunden und eingemessen. Dank dem Rückzug konnte Punkt 3 durch einen günstiger gelegenen Punkt 6 ersetzt werden. Wenn die Längenänderung in diesem Bereich für den gesamten Gletscher kaum repräsentativ sein wird, so wird damit immerhin die Tendenz zahlenmässig belegt (J. Marx).

### 73 Hüfi

**1997:** Der markante Rückzug der letzten Jahre setzte sich fort. Die Basislinie für die Messungen wurde 150 m gletscherwärts verschoben und im neuen Punkt 1997 auf einer Felsstufe versichert. Da der Gletscher seitwärts durch markante Felswände begrenzt wird, wurde der Croquismassstab von 1:2'000 auf 1:1'000 geändert. Punkt 1997 liegt 10 m höher als die Basispunkte B' - D'. Die schräg gemessenen Länge für die künftige Rekonstruktion der Basislinie zwischen D' und 1997 beträgt 29.6 m. Im Bereich des Steilabsturzes baut sich die Eismasse rasch ab, sodass der Zungenbereich schon bald vom Gletscherstrom getrennt werden könnte (J. Marx).

### 74 Griess (Unterschächen)

**1996:** Es lag 20 cm Neuschnee bei der Messung (B. Annen, M. Pillot).

**1997:** Dank der Konservierung unter einer Schuttschicht, hat sich wie in den vorangehenden Jahren wenig geändert (J. Marx, B. Annen).

### 75 Firnalpeli (Ost)

**1996:** Infolge frühen Schneefalls war es nicht möglich, dieses Jahr den Gletscher zu vermessen (R. Imfeld).

**1997:** Das Zungenende ist seit 1995 im Mittel um ca. 17 m zurückgeschmolzen, wobei die einzelnen Messungen von + 7 m bis - 48 m im Vergleich zu 1995 schwanken (R. Imfeld).

### 76 Griessen (Obwalden)

**1996:** Infolge frühen Schneefalls war es nicht möglich, dieses Jahr den Gletscher zu vermessen (R. Imfeld).

**1997:** Das Zungenende hat sich im Vergleich zu 1995 nur wenig verändert (R. Imfeld).

### 77 Biferten

**1996:** Die Gletscherzunge war wiederum ohne Probleme zu begehen. Das Messresultat zeigt keine nennenswerten Änderungen der Tendenz zu den Vorjahren. Das Zungenende zieht sich weiterhin zurück, und dies trotz eher kühlen Jahrestemperaturen.

Eine wichtige Beobachtung ist jeweils der Abstand der Gletscherzunge im Bereich der Fassung 2. Dort ist ein Vorstoss von 6.5 m zu vermerken. Der Abstand der Fassung beträgt jedoch immer noch 35.5 m. In diesem Bereich liegt auch der tiefste Punkt des Gletschers mit 1818.6 m ü.M.

Bei den Gletschertoren konnte ich wiederum ähnliche Werte feststellen wie im Vorjahr. Beim höher gelegenen Tor war die Höhe 1954 m ü.M. und somit gleich wie im Vorjahr. Die Höhe beim Wasseraustritt liegt 1996 bei 1949.5 m ü.M. Beim tieferen Tor bemerkt man den leichten Vorstoss. Betrug die Höhe im Vorjahr noch 1922 m ü.M. ist sie heute auf 1920.2 m ü.M. gesun-

ken. Auch bei der Höhenmessung über der bekannten Visurlinie ist das Schwinden des Gletschers festzustellen. Die Gletscherhöhe sank an dieser Stelle von 2031.2 m ü.M. auf 2022.9 m ü.M. (H.P. Klauser).

**1997:** Der Rückgang über die gemessene Breite von 325.8 m beträgt 7.6 m. Der tiefste Punkt liegt bei 1922.5 m ü.M., fast 4 m höher als 1996 (1918.6 m ü.M.). Der tiefste Punkt ist zugleich das Gletschertor (1996 als Tor 2 bezeichnet) und befindet sich bereits 48 m von der KLL Fassung 2 entfernt (1996 noch 35.5 m). Das letztjährige Gletschertor 1 ist heute eher als Eishöhle zu bezeichnen, da sich in diesem Bereich kein eigentlicher Gletscherbach mit Wasseraustritt befindet. Der Standort Gletscherhöhle liegt bei der Höhenkote 1945.9 m ü.M. Auch die alljährliche Messung über die Visurlinie Mauer Fridolinshütte-Giebel - alte Fridolinshütte bestätigt das Resultat, die Höhe im Jahre 1997 ist auf 2013.7 m ü.M gesunken. Auch der Fotovergleich des Beitrages von Irène Hunold mit derjenigen des Gletscherfliegers Christian Streiff zeigt den deutlichen Rückgang am Bifertengletscher. Die starke Verschmutzung des Gletschers, die eines-teils auf Geröllabgänge aus den umliegenden Felswänden (Biferten, Bündner Tödi, Urlaun) zurückzuführen sind und andererseits wohl auf die Ablagerungen aus der Luft (natürliche sowie vom Menschen herbeigeführte Belastungen), trägt zusätzlich zu den klimabedingten Faktoren zum Schwinden dieses Gletschers bei (H.P. Klauser).

## 78 Limmern

**1996:** Der Gletscherrand des Limmernfirn ist wie schon in den letzten Jahren auf der rechten Seite (Punkte 1-3) wegen der massiven Schuttbedeckung sehr schwierig zu erkennen. Alle Punkte zeigen aber deutlich den sich fortsetzenden Rückzug. Ab Höhe See (1900 m ü.M.) lag 10 cm frischer Schnee. Der Gletscher war komplett mit Neuschnee (10-40 cm im Zungenbereich) bedeckt (U. Steinegger).

## 79 Sulz

**1996:** Der diesjährige Wert von -2.5 m liegt wieder im Bereich der Messungen von 1983 bis 1992 (Th. Rageth).

**1997:** Das Gletschertor ist gegenüber früher nicht sehr weit offen (Th. Rageth).

## 80 Glärnisch

**1996:** Bei herrlichem Herbstwetter konnten wir die ganze Gletscherzunge vermessen, trotz des Neuschnees (30-50 cm). Teilweise musste der Gletscher erahnt und mit Sondieren ausgemacht werden. Das Resultat der Messung zeigt einen geringen Vorstoss des Gletschers, nämlich +1.4 m. Auch der tiefste Punkt des Gletschers hat sich etwas nach unten bewegt von 2301.3 m ü.M. nach 2289.1 m ü.M: Dieses Resultat ist sicher erfreulich aber der erschwerten Messbedingungen wegen mit Vorsicht zu bewerten.

Ein Gletschertor ist weiterhin nicht auszumachen. Der Gesamteindruck zeigt keine grösseren Veränderungen seit der letzten Messung, die gut 2 Wochen früher stattfand (H.P. Klauser).

**1997:** Der Gletscher war während des Sommers fast vollumfänglich mit Schnee bedeckt. Die Bedingungen am Gletscher waren ideal. Keine Firn- oder Schneeresten behinderten die Begehung der Gletscherzunge. Um möglichst wenig Umstellpunkte zu benützen war der Instrumentenstandort erstmals beim Punkt 11000003. Um jedoch im Gebiet Firnbach (also östlich des Punktes 11000004/ 11) alles optimal zu erfassen, stellte ich erstmals auf dem Punkt 11000011 auf (= 4 HP von Vorgänger Walter Wild).

Letztes Jahr konnte ich ein kleines Wachstum unter dem Vorbehalt der grossen Neuschneemengen auf dem Gletscher registrieren. Dieses Resultat wird in diesem Jahr wieder etwas relativiert, geht doch der Gletscherschwund weiter. Der Rückgang des Gletschers über die ganze gemessene Breite von 377.8 m beträgt 2.0 m. Der tiefste Punkt des letzten Jahres hat sich nur unwesentlich von 2289.1 auf 2291.7 m ü.M. verschoben. Nach wie vor ist kein eigentliches Gletschertor auszumachen, fliesst doch Schmelzwasser immer noch über und unter dem ganzen Gletscher ins Vorgelände, wo es schliesslich den alten und neuen Firnbach bildet. Der erneute Rückgang wird wohl immer noch auf die momentan starke Erwärmung zurückzuführen sein, war doch gemäss privater Meteostation in Schwanden fast jeder Monat um 1.7° C zu warm. Als Ausnahme gilt lediglich der Monat Januar (normal !) und der Monat April (0.3° C zu kalt) (H.P. Klauser).

## 81 Pizol

**1996:** Der Gletscher war von einer dünnen Schneeschicht bedeckt. Die Messung erfolgte wieder ab der C-Linie, in den Messpunkten 1-6. Zwischen den Punkten 2C und 3C sowie 5C und 6C fielen zwei relativ frisch aussehende Geröllflächen auf. Ein Wasserabfluss konnte nicht festgestellt werden. Der Gletscherrand war ausser bei Punkt 5 bei allen Punkten als ausgesprochen flacher Eisrand gut erkennbar. Bei Punkt 5 bestand eine starke Schuttbedeckung, was ein sicheres Erkennen des Gletscherrandes erschwerte. Ein Firnrand war nirgends vorhanden. Der flache Eisrand wies ausser in Punkt 5 überall einen Vorstoss gegenüber der Vormessung auf. Weil dieser Eisrand aber sehr flach ist, ergibt sich wohl ein rechnerischer Vorstoss des Gletschers. Über die Volumenänderung des Gletschers dürfen daraus aber keine Schlüsse gezogen werden (A. Hartmann).

**1997:** Die Gletschermessung wurde begleitet und assistiert durch eine Gymnasialklasse als Teil einer Gletscher-Projektwoche. Die Messungen erfolgten wieder ab der C-Linie, in den Messpunkten 1 bis 6. Der Gletscher war überall schneefrei. Ein Wasserabfluss war an mehreren Stellen noch gut feststellbar. Auf der Ostseite des Gletschers waren kleine Spalten erkennbar. Beim Messpunkt C2, wo im Vorjahr noch mit dem Hauptgletscher zusammenhängendes Eis bis unmittelbar zum Messpunkt festgestellt worden ist, hat sich die Gletscherzunge dieses Jahr vom Hauptgletscher losgelöst. Der klar feststellbare Eisrand des Gletschers musste deshalb 1997 oberhalb des Schuttfeldes eingemessen werden, was den massiven Rückzug in diesem Punkt erklärt. Bei Messpunkt C5 konnte der Eisrand wegen der vorhandenen Schuttüberdeckung nur vermutet werden. Eingemessen wurde das äusserste, eindeutige Zutagetreten des Eises im Schutt. Die Messpunkte der Linie C wurden nachgestrichen und mit Farbe besser markiert (A. Hartmann).

**83 Punteglias**

**1996:** Schwierige Messbedingungen trotz gutem Wetter: Gletscherrand im Bereich der Punkte 9114-9116 kaum zugänglich (Steilabfall, teilweise gefrorener und nicht begehbarer Randsee): Punkte 9109-9113 mit Schneeüberdeckung (20-25cm) zusätzlich zur Moränenschuttauflage. Die (nicht systematische) Messungenauigkeit in diesem Bereich wird auf  $\pm 2$  m geschätzt (H. Klöti).

**1997:** Die Schutt- und Schneeüberdeckung eines grossen Teils des Gletscherrandes machten die Messung schwierig. Die Abweichung zum Vorjahr liegt im Bereich der Messungenauigkeit. Grössere Mengen an Toteis können an der linken wie rechten Talflanke teils festgestellt, teils nur vermutet werden (A. Klöti).

**84 Lenta**

**1996:** Der Gletscher zieht sich nicht alleine am Zungenende, sondern auch auf den beiden Talflanken stark zurück. Die dolinenartige Absenkung südlich des Gletscherendes hat sich gegenüber 1995 markant erweitert (B. Parolini).

**1997:** Die Gletschermessung konnte bei schönstem Wetter durchgeführt werden. Nach wie vor ist die Gletscherzunge mit viel Moränenmaterial überdeckt. Bei Messlinie C konnte deshalb der Gletscherrand nicht mit aller Sicherheit bestimmt werden. Möglicherweise ist in diesem Bereich etwas Toteis abgetrennt (B. Parolini).

**85 Vorab**

**1996:** Schönes Wetter während der Messung. Der Zeitpunkt war etwas früh aber dafür konnte die Messung sicher durchgeführt werden (R. Danuser).

**1997:** Optimale Verhältnisse für die Messung. Zusätzlich wurde dieses Jahr eine Situationskizze mit der neuen Basislinie und dem Stand der Ausaperung erstellt (R. Hefti, R. Danuser).

**86 Paradies**

**1996:** GL 181 musste auf dem Plan aufgrund der neuen Messung frisch eingezeichnet werden. Die Mächtigkeit des Gletschers hat markant abgenommen, das Zungenende ist stark ausgeflacht (O. Hugentobler).

**1997:** Erneut musste ein starker Rückgang der Eismasse festgestellt werden, das Zungenende ist ausgeflacht. Der Zugang zum Gletscherrand wird von Jahr zu Jahr schwieriger. Die Eismasse ist bei allen Gipfeln im Umfeld des Rheinwaldhornes zurückgegangen (O. Hugentobler).

**87 Suretta**

**1996:** Das Zungenende ist stark ausgeflacht. Es zeichnet sich eine Abtrennung der Zunge unterhalb der Felspartie auf rund 2315 m ü.M. ab (O. Hugentobler).

**1997:** Nicht abgeschmolzener Lawinenschnee verdeckte den nordöstlichen Gletscherrand. Die Gletschermasse hat enorm abgenommen. Grössere Felsmassen sind nun völlig eisfrei (O. Hugentobler).

#### **88 Porchabella**

**1997:** Die Messung 97 konnte bei einwandfreien Bedingungen durchgeführt werden. Für die Messung/Berechnung der Veränderung des Gletschers gem. Punkt 8 wurde die Messung 94 als letzte genaue Messung beigezogen. Es resultierte eine durchschnittliche Längenabnahme von -13.7 m (0 bis -27.5 m). Um die Massenabnahme in Zukunft etwas genauer beurteilen zu können, wurden erstmals die 2 Felsköpfe bei Punkt 2'861 m ü.M. aufgenommen. Die Köpfe ragen zwischen 3.8 und 35.3 m respektive 1.7 und 17.1 m aus dem Gletscher (Chr. Barandun).

#### **89 Verstankla**

**1996:** Nach einem erstaunlich schneearmen Winter und einem eher kühl nassen Sommer wurde der Gletscher termingemäss am Mittwoch den 4. September 1996 eingemessen. Das Wetter war mild, windstill und vorerst sonnig; die Nullgradgrenze lag bei 3100 m ü.M. Ausser der Zunge war praktisch der ganze Gletscher schneebedeckt.

Auch wenn wenige Tage vor der Messung noch Schnee gefallen ist, konnten doch alle Punkte des Vorjahres wieder gefunden werden. Die südlich gelegene Messlinie P'3 ist noch mehr von grobblockigem Moränenmaterial aus den Abhängen der Verstanklachöpfe zugeschüttet worden. Das Material aus den Steilhängen löst sich und ein Zusammenhang mit dem Permafrost ist durchaus vorstellbar. Jene Steiflanke war in früheren Jahren durch Firnschnee bedeckt gewesen, der nach und nach weggeschmolzen ist. In Zukunft wird auf die Messlinie P'3 verzichtet werden müssen. Dafür erweist sich die höher gelegene Messlinie von Punkt PN als geeignet.

Aus dem alten Gletschertor fliesst nur noch wenig Wasser, dafür ergiesst sich ungefähr 80 m nördlich ein Bach über die Felsen. Unter der südlichen Gletscherbegrenzung quillt das Wasser recht willkürlich aus dem abgelagerten Moränenmaterial hervor (J. Stahel).

**1997:** Am Messtag herrschte eine ausgesprochene Föhnlage, selbst in Gletschnähe wehte ein warmer Wind, der Himmel war bedeckt und am Nachmittag fiel die Föhnlage zusammen. Nur etwa 1/3 des Verstanklagletschers war ausgeapert. Auffallend ist, wie viel Geröll die Gletscherzunge überlagert. Alle vier Punkte des Vorjahres liessen sich auffinden, ebensogut konnte deren Abstände zur Gletscherzunge erkannt und eingemessen werden, auch wenn dies des reichlichen Moränenmaterials wegen nicht immer so einfach war. Trotz des eher unfreundlichen Sommerwetters vermochte sich der Verstanklagletscher in der abgelaufenen Jahresperiode im Mittel -1.75 m zurückzuziehen, dies wohl als Folge des schneearmen Winters. Aus dem alten Gletschertor fliesst kaum noch Wasser, das neue Gletschertor liegt etwa 40 m weiter nördlich. Unter der südlichen Gletscherbegrenzung quillt das Wasser recht willkürlich aus dem abgelagerten Moränenmaterial hervor. Bedingt durch die warme Witterung floss reichlich Schmelzwasser. Die Messlinie P3 ist definitiv unter dem Geröll verschwunden (J. Stahel).



## 90 Silvretta

**1997:** Vermessungsflug am 16.09.97. Photogrammetrische Auswertung durch H. Bösch VAW/ETHZ (M. Hoelzle).

## 91 Sardona

**1996:** Der Gletscher wies eine leichte Schneedecke auf. Die Messungen erfolgten ab den Messpunkten 1-6. Der Gletscherrand war bei den Punkten 1, 3, 4 und 5 als Eisrand gut erkennbar. Bei Punkt 2 musste der Eisrand wegen der vorhandenen starken Geröllüberdeckung mehr vermutet als genau festgestellt werden. Bei den Punkten 5 und 6 hat sich die Firnzunge dieses Jahr stark zurückgezogen. In Punkt 5 lag erstmals wieder der Eisrand frei. Grosse Eisschollenablösungen waren nirgends festzustellen. Zwischen den Punkten 4 und 5 lag auffallend viel Geschiebe auf dem Gletscher. Die immer wieder erwähnte grosse Einsackung des Gletschers im Bereich 2-3 ist nach unserem Eindruck etwa gleich geblieben. Der Gletscherrand und die vermuteten Toteispartien wären wegen der Schuttbedeckung in diesem Bereich kaum genau zu lokalisieren. Aufgefallen ist uns die starke Spaltenbildung im Bereich der Punkte 1-4. Das abfliessende Wasser war wieder relativ spärlich und sauber. Die Gletscherschmelze erschien nicht mehr sehr aktiv (A. Hartmann).

**1997:** Der Gletscher wies im oberen Bereich eine leichte Schneedecke auf, der Eisrand lag jedoch, abgesehen von den Geschiebeüberlagerungen, frei. Die Messungen erfolgten ab den Messpunkten 1, 2, 3, 4, 5 und 6. Die Messpunktmarkierung befindet sich in einem schlechten Zustand, deshalb wird sie bei der nächsten Messung erneuert. Der Rand des Gletschereises war bei den Punkten 1, 3 und 4 sehr gut erkennbar. Bei Punkt 2 war der Eisrand auf der Azimutlinie mit Geschiebe überführt; er konnte aber anhand des frei liegenden Eisrandes in der unmittelbaren Nachbarschaft genügend genau ermittelt werden. Bei den Punkten 5 und 6 hat sich die Firnzunge, welche sich im Vorjahr stark zurückgezogen hatte, wiederum vorgeschoben, sodass hier keine Messung des Eisrandes stattfinden konnte. Zwischen den Punkten 4 und 5 lag auffallend viel Geschiebe auf dem Gletscher. Die immer wieder erwähnte grosse Einsackung des Gletschers im Bereich der Punkte 2 und 3 ist nach unserem Eindruck etwa gleich geblieben. Der Gletscherrand und die vermuteten Toteispartien sind wegen der Schuttüberdeckung in diesem Bereich nicht feststellbar. Die Spalten im Bereich oberhalb der Punkte 1 bis 4 haben sich im Vergleich zum Vorjahr kaum verändert. Zum Messzeitpunkt trat noch überall Schmelzwasser aus. Die Gletscherschmelze war im Vergleich zum Vorjahr noch sehr aktiv (A. Hartmann).

## 92 Roseg

**1996:** Viele Eisschollen auf dem Gletschersee belegen die grosse Kalbungsrate und damit den grossen Rückzug. Auf der linken Seeseite sind noch Toteisresten vorhanden. Neue Eispakete haben sich beinahe vollständig vom Hauptgletscher gelöst. Die Messungen werden immer gefährlicher und erfordern höchste Vorsicht (G. Bott).

**1997:** Sehr viele Eisschollen auf dem Gletschersee belegen die starken Schmelzprozesse am Gletscherrand, welcher in den See kalbt. Das Toteis am linken Seeufer ist komplett wegge-

schmolzen. "Glatte" Zungenfront. Die Messbedingungen sind zur Zeit äusserst schwierig (G. Bott).

### 93 Tschierva

**1996:** Am linken Zungenrand ist eine neue Furche entstanden, als Trennung der Gletscherzunge vom Toteis. Die bereits 1995 festgestellten, oberflächlichen Wasserrinnen haben grosse Schmelzprozesse ausgelöst (G. Bott).

**1997:** Es wurden verschiedene Holzfunde vor der Gletscherzunge gemacht. Rechts vom Gletschertor wurden Felsplatten freigelegt. Im nächsten Jahr wird ein neuer Fixpunkt auf diesen Felsplatten installiert werden (G. Bott).

### 94 Morteratsch

**1996:** Rechts sind 5 vorgelagerte Seen entstanden. Auf der linken Seite sind grosse Schmelzprozesse in Gang (G. Bott).

**1997:** Am linken Zungenrand sind einige neue Bäche entstanden. Viele der oberflächlichen, wasserführenden Bäche zeigen grosse Schmelzprozesse an. Vor der Gletscherzunge sind rechts zahlreiche neue Seen entstanden (G. Bott).

### 95 Calderas

**1996:** Es ist ein neues Gletschertor auf der rechten Seite entstanden. Die oberflächlichen Rinnen sind nicht mehr so ausgeprägt wie 1993 und 1994 (G. Bott).

**1997:** Es wurde eine neue Messrichtung ab dem bestehenden Fixpunkt (Stein) = 231.5 (alt 261.5) festgelegt, welche ab 1998 gebraucht werden soll (G. Bott).

### 96 Tiatscha

**1996:** Der Gletscher ist unterhalb des Felsbandes bis zum Gletschertor nur noch wenige Meter mächtig. Der Rückzug gestaltet sich entsprechend rasch (M. Stadler).

**1997:** Der relativ grosse Vorstoss des Gletschers bei den Punkten A und B dürfte in erster Linie von einem neuerlichen Gletscherabbruch oberhalb des Felsbandes verursacht sein (M. Stadler).

### 97 Sesvenna

**1996:** Trotz des frühen Schneefalls war der Gletscherrand sehr gut sichtbar. In diesem Jahr verzeichneten wir einen durchschnittlichen Rückzug des Gletscherfusses von -3.6 m. Das kleine anlässlich der letzten Messung beobachtete Gletschertor ist nicht mehr vorhanden. Im Bereich der Messlinien 1-3 scheint der Gletscher stark an Mächtigkeit zu verlieren. Hingegen war im östlichen Teil des Gletschers keine weitere Abnahme feststellbar. Im nächsten Jahr soll eine neue Basislinie festgelegt und vermessen werden (L. Rauch).

**1997:** Am grössten war der diesjährige Rückzug im Bereiche der Messlinien 4 und 5. Der östliche Gletscherteil hat in den letzten Jahren stark an Mächtigkeit verloren, derart, dass die Messlinie 6 in naher Zukunft nicht mehr verwendet werden kann. Das kleine Gletschertor ist verschwunden. Im nächsten Jahr muss eine neue Basislinie abgesteckt werden (L. Rauch).

#### **98 Lischana**

**1996:** Wegen früher Einwinterung war die Vermessung des Gletschers nicht möglich (L. Rauch).

**1997:** Wegen der geringen Mächtigkeit des Gletscherrandes stellen wir seit Jahren grosse Schwankungen der durchschnittlichen Messergebnisse fest. Wiederum hat sich der obere Gletscherrand markant talwärts verschoben. Kurzfristig müssen wir mit einer extremen Verkleinerung des ganzen Gletschers rechnen, da nicht nur die oberen Gletscherpartien, sondern auch die seitlichen Abschnitte zunehmend an Mächtigkeit verlieren. Innert weniger Jahren werden die Bereiche der Messlinien Nr. 1 und Nr. 6 eisfrei sein (L. Rauch).

#### **99 Cambrena**

**1996:** Das Militär hat den Zugang zum Gletscher 2 Wochen lang verhindert. Von der Lagalb aus scheint der Gletscher ca. 10-12 m zurückgegangen zu sein. Stark abgenommen hat die Mächtigkeit beim Abbruch im Tälchen (A. Godenzi).

**1997:** Verglichen mit dem Jahr 1995 ist der Gletscher knapp 5 m zurückgegangen, das heisst also 1996 - 1997 = stationär. Vom Gletscherabbruch rechts ist eine Eismasse abgestürzt. Deshalb hat man bei Punkt 7 einen Zuwachs. Der Abbruch auf der linken Seite hat an Mächtigkeit verloren (A. Godenzi).

#### **100 Palü**

**1997:** La lingua terminale si è staccata da ghiacciaio principale a 2'500 - 2'600 m s.l.m. La lingua sta per sparire (bucco + abbassamento notevoli) (G. Berchier).

#### **101 Paradisino ("Vedreit da Campo")**

**1996:** Der Gletscher war mit einer dünnen Neuschneesicht bedeckt. Sonst lag rechts kein Lawinenschnee auf der Zunge wie in den vergangenen Jahren. Auffallend ist die Abnahme der Höhe der Eismasse. Beim Gletschertor ist die Eisschicht ausserordentlich dünn (A. Godenzi).

**1997:** Der linke Hang ist abgerutscht (Bergsturz) und auf dem Gletscher liegt nun eine dicke Geröllschicht mit einem riesigen Block (A. Godenzi).

#### **102 Forno**

**1996:** Gute Messbedingungen. Der Gletscher ist auf der ganzen Front stark zurückgegangen (C. Mengelt).

**1997:** Die Gletscherzunge ist auf der Westseite extrem zurückgegangen (C. Fisler, C. Mengelt).

### 103 Bresciana

**1996:** Anche quest'anno abbiamo misurato tutto il suo fronte, la lingua si è appiattita notevolmente e sulle fasce laterali si intravedono sporgenze di roccia. È possibile che in futuro si formino alcune spaccature con un notevole ritiro. Sul lato destro si nota già quest'anno un ritiro di oltre 40 m (C. Valeggia).

**1997:** Anche quest'anno abbiamo misurato tutto il suo fronte, la lingua si è appiattita notevolmente e sulle fasce laterali si intravedono sporgenze di roccia. Se l'evoluzione continuerà a questo ritmo è possibile in un futuro un notevole ritiro del fronte del ghiacciaio (C. Valeggia).

### 104 Basodino

**1996:** La lingua di ghiaccio che si era formata l'anno scorso dando un aumento medio della lingua di ghiaccio di 6 m, si è sciolta, ed il suo fronte si è notevolmente appiattito (C. Valeggia).

**1997:** La lingua di ghiacciaio assai appiattita che si era formata l'anno scorso dando una regressione media di 2.7 m si è sciolta. Il suo fronte si è notevolmente appiattito. Abbiamo ritrovato alcuni punti di misurazione vecchi (anno 1964-1967) su roccia che finora si trovavano sotto la coltre di ghiaccio (C. Valeggia).

### 105 Rossboden

1997: Die Situation am Rossbodengletscher hat sich nicht verändert. Die Längenänderung der durch Blockschutt überdeckten Toteismasse wurde an den 2 bisherigen Punkten ermittelt und beträgt im Mittel + 4.6 m (M. Borter).

### 109 Alpetli

**1996:** Weitere Absackung der gesamten Gletscherzunge. An beiden Seitenrändern deutlicher Schwund feststellbar (U. Fuhrer).

**1997:** Starke Absackung der Gletscherzunge. Deutliche Hohlräume konnten unter der Eismasse festgestellt werden (U. Fuhrer).

### 111 Ammertén

**1996:** Spät aber doch noch konnten die Messungen durchgeführt werden. Beschwerlich war der viele Neuschnee unmittelbar beim Gletschertor und der stürmische Föhn (E. Hodel).

**1997:** Trotz Nordwest-Exposition dauerte die Schmelzperiode noch ca. 1 Monat weiter an (E. Hodel).

### 114 Plattalva

**1996:** Die Vermessung des Plattalva gestaltete sich wie letztes Jahr schwierig. Der Punkt 1 konnte nicht vermessen werden, da der Eisrand und die Steinmännchen nicht aufzufinden wa-

ren. Die flache Zunge ist leicht zurückgewichen. Der Bereich des linken Zungenteils, welcher seit 1992 eisfrei war, ist wieder stark mit Neuschnee und vermutlich auch mit Firn und Lawinenschnee zugedeckt. Generell lag im Zungenbereich ca. 50 cm Pulverschnee, darunter 50 - 100 cm Nassschnee. Nur bei Punkt 5 lag zusätzlich noch Firnschnee. Am Nachmittag des 20. Oktobers setzte Regen bis ca. 2300 m ü.M. ein (U. Steinegger).

### 117 Valleggia

**1996:** La lingua del ghiacciaio termina nella vallata tra la morena di roccia e la montagna. Il suo fronte è molto ripido con una coltre di ghiaccio assai consistente. Anche qui le fotografie mostrano molto bene la sporgenza di roccia nel centro della lingua del ghiacciaio che anche quest'anno è visibile dovuta alla diminuzione dello spessore (C. Valeggia).

**1997:** La lingua del ghiacciaio termina nella vallata tra la morena di roccia e la montagna. Il suo fronte è molto ripido con una coltre di ghiaccio assai consistente nella parte centrale della lingua del ghiacciaio. Anche qui le fotografie mostrano molto bene la sporgenza di roccia nel centro della lingua del ghiacciaio, anche quest'anno il suo spessore è sensibilmente diminuito (C. Valeggia).

### 118 Val Torta

**1996:** Il ghiacciaio è molto piatto senza avere una coltre di ghiacciaio molto consistente ed è in gran parte ricoperto da detriti di roccia. Le fotografie annesse mostrano molto bene questa situazione, inoltre si notano alcune sporgenze di roccia sia nel ghiacciaio, come pure a valle del fronte.

Il nevaio che si trova nella conca tra le due morene davanti al ghiacciaio è praticamente scomparso (C. Valeggia).

**1997:** Il ghiacciaio si è appiattito notevolmente senza avere una coltre di ghiacciaio molto consistente ed è in gran parte ricoperto da detriti di roccia. Le fotografie annesse mostrano molto bene questa situazione, inoltre si notano alcune sporgenze di roccia sia nel ghiacciaio, come pure a valle del fronte. Il nevaio che si trova nella conca tra le due morene davanti al ghiacciaio è praticamente ridotto sia in superficie come pure in volumetria (C. Valeggia).

### 119 Cavagnoli

**1996:** Sulla sua sinistra il ghiacciaio termina su una morena di roccia con il pendio verso il fronte del ghiacciaio, il suo spessore non è più consistente e per i prossimi anni non si ritiene di rilevare questa parte. La lingua di ghiacciaio più voluminosa si trova sulla destra della sporgenza di roccia più evidenziata. Costatiamo una regressione di oltre 40 m della parte sinistra della lingua (C. Valeggia).

**1997:** Sulla sua sinistra il ghiacciaio termina su una morena di roccia con il pendio verso il fronte del ghiacciaio, il suo spessore non è più consistente. Si ritiene di non rilevare questa parte nei prossimi anni. La lingua ghiacciaio più voluminosa si trova sulla destra della sporgen-

za di roccia più evidenziata. La particolarità di questo ghiacciaio è d'avere una regressione assai progressiva (C. Valeggia).

#### **120 Corno**

**1996:** Trovandosi questo ghiacciaio su un pendido ripido si nota come la lingua di ghiacciaio spinge verso valle. Avanti ad esso c'è uno strato di ghiaccio ricoperto da detriti e la sua forma corrisponde ai rilievi precedenti. Le fotografie mostrano una sporgenza di roccia consistente sulla sinistra del fronte del ghiacciaio (C. Valeggia).

**1997:** Trovandosi questo ghiacciaio su un pendido ripido si nota come la lingua di ghiaccio spinge verso valle, la sua lingua si sta appiattendendo. Avanti ad esso c'è uno strato di ghiaccio ricoperto da detriti e la sua forma corrisponde ai rilievi precedenti. Le fotografie mostrano una sporgenza di roccia consistente sulla sinistra del fronte del ghiacciaio, che crea alcuni problemi per misurare il fronte (C. Valeggia).

#### **121 Croslina (Campo Tencia)**

**1996:** Le condizioni climatiche avverse durante i mesi di settembre e ottobre (neve) non hanno permesso le misurazioni (C. Valeggia).

**1997:** La lingua di ghiaccio è tra le rocce e termina con un nevaio ghiacciaio ricoperto da detriti. Il nevaio nella parte pianeggiante ha ricoperto di nuovo il laghetto. La lingua del ghiacciaio si trova su roccia sia lateralmente come pure davanti al fronte al di sopra del nevaio. La sporgenza di roccia che si trova sotto la lingua del ghiacciaio rende assai difficile le misurazioni del fronte (C. Valeggia).

## II Investigators of the individual glaciers (1998)

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

THE SWISS GLACIERS 1995/96 AND 1996/97

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