

**DIE GLETSCHER DER SCHWEIZER ALPEN**  
**1987/88 und 1988/89**

109. und 110. Bericht

**LES VARIATIONS DES GLACIERS SUISSES**  
**1987/88 et 1988/89**

*109<sup>e</sup> et 110<sup>e</sup> rapports*

**JAHRBUCH**

DER GLETSCHERKOMMISSION  
der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften / SANW  
herausgegeben durch die  
VERSUCHSANSTALT FÜR WASSERBAU, HYDROLOGIE UND GLAZIOLOGIE / VAW  
der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich / ETHZ

**ANNUAIRE**

DE LA COMMISSION DES GLACIERS  
*de l'Académie Suisse des Sciences Naturelles / ASSN*  
*édité par les*  
LABORATOIRES DE RECHERCHES HYDRAULIQUES, HYDROLOGIQUES ET  
GLACIOLOGIQUES / VAW  
*de l'Ecole Polytechnique Fédérale à Zurich / EPFZ*

**1993**

**DIE GLETSCHER DER SCHWEIZER ALPEN**  
**1987/88 und 1988/89**

109. und 110. Bericht

**LES VARIATIONS DES GLACIERS SUISSES**  
**1987/88 et 1988/89**

*109<sup>e</sup> et 110<sup>e</sup> rapports*

**Markus Aellen, VAW / ETHZ und GK / SANW**  
**Eveline Herren, Oberrohrdorf AG**

**JAHRBUCH DER GLETSCHERKOMMISSION DER SANW**

**ANNUAIRE DE LA COMMISSION DES GLACIERS DE L'ASSN**

**1993**

Publikation mit Unterstützung der Schweizerischen Akademie der  
Naturwissenschaften / SANW

*Publication subventionné par l'Académie suisse des sciences naturelles / ASSN*

Publikation der Gletscherkommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW)

c/o Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ)

Gloriastrasse 37/39, ETH Zentrum, CH-8092 Zürich

*Publication de la Commission des glaciers de l'Académie suisse des sciences naturelles (ASSN)*

*c/o Laboratoires de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques (VAW) de l'Ecole polytechnique fédérale à Zurich (EPFZ)*

*Gloriastrasse 37/39, ETH Zentrum, CH-8092 Zurich*

Druck von Stämpfli+Cie. AG, Bern 1993

*Imprimé par Stämpfli+Cie AG, Bern 1993*

Gletscherkommission der SANW 1993



*Commission des glaciers de l'ASSN 1993*

## NOTIZ

Die Gletscherkommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW), vormals Schweiz. Naturforschende Gesellschaft SNG), gegründet im Jahre 1893, verfolgt die gleichen Ziele wie das vorangehende, durch den Schweizerischen Alpenklub (SAC) und die SNG gemeinsam 1869 gebildete und 1893 aufgelöste Gletscherkollegium.

Reglement der Kommission, Art. 5: Die jährlichen Erhebungen über den Stand und die Veränderungen der Gletscher in den Schweizer Alpen im Sinne einer Landesaufnahme sind die zentrale Aufgabe der Gletscherkommission.

## NOTICE

*La Commission des Glaciers de l'Académie suisse des sciences naturelles (ASSN, ancienne Société helvétique des sciences naturelles SHSN), constituée en 1893, poursuit les mêmes buts que le précédent Collège glaciaire, fondé en commun par le Club alpin suisse (CAS) et la SHSN en 1869 et dissout en 1893.*

*Règlement de la Commission, art. 5: Les relevés périodiques sur l'état actuel et sur les variations annuelles des glaciers des Alpes suisses constituent la tâche principale de la Commission des glaciers. Avec ces relevés, l'ASSN assume la responsabilité du réseau glaciologique national suisse.*

### GLETSCHERKOMMISSION DER SANW COMMISSION DES GLACIERS DE L'ASSN

Mitglieder - <i>Membres:</i>		seit - <i>depuis</i>
Bruno Salm, Davos	Präsident - <i>Président</i>	1981
Wilfried Haerberli, VAW Zürich	Vizepräsident - <i>Vice-président</i>	1989
Markus Aellen, VAW Zürich	Sekretär und Delegierter für die Gletscherbeobachtungen - <i>Secrétaire et délégué aux contrôles glaciaires</i>	1981
Bernhard Stauffer, Bern		1984
Peter Wick, Luzern		1984
Michel Monbaron, Freiburg		1990
Giovanni Kappenberger, Locarno Monti		1991
Charly Wuilloud, Sitten		1992



# VORWORT

Das vorliegende Jahrbuch ist im Inhalt gleich aufgebaut, im Habitus gleich aufgemacht wie die vorangehenden Bände, abgesehen von den nachstehend erwähnten Anpassungen. Aufbau und Aufmachung des Jahrbuchs sollen beibehalten werden bis die Verspätung der Berichte gegenüber den Berichtsjahren auf ein beziehungsweise zwei Jahre verkürzt ist. Beim vorliegenden Jahrbuch ist auf folgende Änderungen hinzuweisen:

- Der jährliche - in den Berichtsjahren umgestaltete - Gletscherbericht in der Zeitschrift "Die Alpen" ist wie bisher im Jahrbuch verarbeitet (einschliesslich der Zusammenfassung auf Seite VII).
- Die zusätzliche Tabelle 3.4, in der die Gletscher klassiert sind nach der Zahl der Jahre mit Längenzuwachs in der Zeitspanne 1965-1985, ist ausnahmsweise eingefügt (S. 58).
- Die bereinigte Fassung der (unvollständigen) Tabelle 5.4 des letzten Jahrbuchs ist im vorliegenden Band auf Seite 101 zu finden.

## **EINLEITUNG**

Die Gletscherberichte Nr. 1-83 (1880 - 1961/62) sind in französischer Sprache veröffentlicht. Die Berichte Nr. 84-94 (1962/63 - 1972/73) sind in zwei parallelen Reihen mit einer in Deutsch verfassten und einer ins Französische übersetzten Ausgabe erschienen. Ab Nr. 95 (1973/74) sind die Gletscherberichte zweier Jahre in einem zweisprachigen Jahrbuch vereint. Tabellen und Abbildungen, die sich auf jedes der beiden Jahre einzeln beziehen, sind für das erste Jahr deutsch, für das zweite Jahr französisch beschriftet. Die übrigen Tabellen und Abbildungen sind zweisprachig ausgeführt. Die Bemerkungen zur Längenänderung eines einzelnen Gletschers (Kap. 3.4) sind in der Regel in der Originalsprache des Beobachters nur deutsch, französisch oder italienisch wiedergegeben. Ein Teil der Texte, Tabellen und Abbildungen des Jahrbuchs sind in der Quartalszeitschrift des Schweizerischen Alpenklubs "Die Alpen" veröffentlicht [Aellen, 1989 und 1990].

Das vorliegende Jahrbuch (109. und 110. Bericht) betrifft die Beobachtungsjahre 1987/88 und 1988/89.

Die Beschreibung der Witterungs- und Klimaverhältnisse der Berichtsjahre (Kap. 1.2 und 1.3) stützt sich auf verschiedene, im Literaturverzeichnis (Kap. 7) zitierte Quellen.

Vermessungsflüge für Gletscheraufnahmen (Tab. 2.1) haben das Bundesamt für Landestopographie (L+T) und die Eidgenössische Vermessungsdirektion (V+D) ausgeführt. An den Vermessungen und den luftphotogrammetrischen Auswertungen sind auch das Geodätische Institut der ETH Zürich und private Vermessungsbüros beteiligt (Kap. 2).

Institutionen und freie Mitarbeiter, die jährlich die Gletscherenden einmessen (Kap. 3), sind in Kapitel 2.1 und 2.2 genannt.

Photos und Legenden des Bildteils (Kap. 4) sind aus der zitierten Zeitschrift "Die Alpen" übernommen.

Die Angaben über den Massenhaushalt (Kap. 5) beruhen auf verschiedenen, in der Einleitung (Kap. 5.1) genannten langfristigen Untersuchungsprogrammen. Den Beitrag der VAW/ETHZ (Kap. 5.2 und 5.3) haben M. Funk (Rhonegletscher, Einzugsgebiet Rhone, Griesgletscher, Einzugsgebiet Ägina, Silvretta-gletscher) und M. Aellen (Aletschgletscher, Einzugsgebiet Massa) zusammengestellt. Die Ergebnisse der Beobachtungen an den Aaregletschern (Kap. 5.4) sind zur Verfügung gestellt von den Kraftwerken Oberhasli, in deren Auftrag das Vermessungsbüro A. Flotron, Meiringen, jährliche Vermessungen ausführt. Die Erhebungen über den jährlichen Firnzuwachs (Kap. 5.5) werden für die Gletscherkommission durch die im Text (Kap. 5.5.2 - 5.5.4) genannten Mitarbeiter durchgeführt.

Kapitel 6 enthält kurze Inhaltsangaben aller Kapitel in englischer Sprache.

In Kapitel 7 sind die Literaturhinweise gesamthaft verzeichnet. Weitere glaziologische Publikationen, die von Schweizern verfasst sind oder die Schweiz betreffen, sind in der periodisch herausgegebenen "Bibliographia scientiae naturalis Helvetica" der Schweizerischen Landesbibliothek zu finden.

# ZUSAMMENFASSUNG

## 1987/88

Im Herbst 1988 ist im Rahmen der jährlichen Erhebungen über die Veränderungen der Gletscher in den Schweizer Alpen die Längenänderung an 107 Gletscherzungen bestimmt worden. Davon sind 27 vorgerückt, 74 zurückgeschmolzen, 6 stationär geblieben. Mit diesem Ergebnis erweist sich das Berichtsjahr als ausgesprochenes Schwundjahr. Untersuchungen über den Massenhaushalt einzelner Gletscher bestätigen und ergänzen diesen Befund: in den südlichen Regionen ist die Gletschermasse viel mehr als normal, in den nördlichen Regionen mässig, etwa gleich viel wie im langjährigen Durchschnitt, vermindert worden. Der Schwund ist zurückzuführen auf ausserordentlich intensive Schmelzung, die während langer Wärmeperioden im Hochsommer auch in den höchstgelegenen Teilen der Gletscher sehr wirksam war. Überdurchschnittlich grosser Schneezuwachs im März und anfangs Juni verzögerte den Beginn der Schmelzperiode und verhinderte noch grössere Massenverluste, wie sie nach dem milden und zeitweise schneearmen Winter zu erwarten waren.

## 1988/89

Im Herbst 1989 ist die Längenänderung an 105 Gletscherzungen bestimmt worden: 19 sind vorgerückt, 83 zurückgeschmolzen, 3 stationär geblieben. Dieses Ergebnis ordnet das Berichtsjahr eindeutig den ausgesprochenen Schwundjahren zu. Als solches liegt es wenig unter dem Durchschnitt der Schwundperiode 1927-1964. Untersuchungen über den Massenhaushalt einzelner Gletscher ergeben ein ähnlich differenziertes Bild wie im Vorjahr: in den südlichen Regionen der Schweizer Alpen ist das Berichtsjahr eines der stärksten Schwundjahre seit 1961. In den nördlichen Regionen entspricht der Schwund nahezu dem langjährigen Durchschnitt. Der unterschiedliche Schwund ist zurückzuführen auf allgemein überdurchschnittliche, im Süden besonders starke Schmelzung, die den allgemein überdurchschnittlichen, im Norden sehr grossen Schneezuwachs durchwegs überwog, obwohl mehrere Schneefälle in der zweiten Sommerhälfte vor allem im Norden dämpfend wirkten. Relativ langsame Fliessgeschwindigkeiten und entsprechend verminderter Massenzufluss zum Zehrgebiet führten bei den meisten Gletscherzungen zu einem Ungleichgewicht zwischen Eisnachschub und Abschmelzung im Sinne des Schwundes.

1988/89 ist das sechste aufeinanderfolgende Jahr mit mildem Winter, schneereichem Frühjahr und langen Wärmeperioden im Sommer. In diesen Jahren ergab die Massenbilanz der Gletscher mehrheitlich und regional stark unterschiedliche Verluste an Gletschermasse. Diesen Massenverlusten zufolge hat sich die Gletscherbewegung beträchtlich verlangsamt auf Minimalgeschwindigkeiten um 1988, die im folgenden Jahr nur unwesentlich übertroffen wurden. Das Nachlassen des Eiszuflusses zu den Gletscherzungen bei überdurchschnittlich starkem Abschmelzen hat das Längenwachstum der Gletscher in den meisten Fällen beendet und durch erneuten Längenschwund weitgehend wieder rückgängig gemacht. Manche Gletscherzungen haben sich bereits deutlich hinter die frisch geschütteten vegetationslosen Stirnmoränen zurückgezogen auf einen Stand, der etwa jenem anfangs der 1950er-Jahre entspricht.

## VERDANKUNGEN

Die Gletscherkommission dankt ihren Beobachtern wie auch allen übrigen Personen und Institutionen, die jedes Jahr oder gelegentlich zu den laufenden Erhebungen, Untersuchungen und Berichten beitragen. Sie dankt allen in der Gletscherchronik oder anderswo im Jahrbuch genannten Beobachtern, Mitarbeitern und Kommissionsmitgliedern, vorab jenen, die in den Berichtsjahren zurückgetreten sind, deren Nachfolgern, und den zahlreichen ungenannten, im Hintergrund wirkenden Personen oder Institutionen, deren Dienste wir immer wieder in Anspruch nehmen und selbstverständlich stets auch schätzen, wiewohl wir dies nicht jedesmal zum Ausdruck bringen.

Die Gletscherkommission dankt besonders auch der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ) für die jährliche Durchführung der Erhebungen, Bearbeitung der Ergebnisse und Redaktion der Gletscherberichte. Im weiteren dankt sie allen an den Übersetzungsarbeiten beteiligten Personen, namentlich C. Aubert, Borex, der die Kurzberichte für die Zeitschrift "Die Alpen" ins Französische übersetzte.

## **PREFACE**

*Le contenu de cet annuaire est présenté comme dans les volumes précédents avec cependant quelques modifications décrites ci-après. Le dispositif général sera maintenu jusqu'à ce que le retard de la parution de l'annuaire par rapport aux années des relevés sera réduit à une respectivement deux années. Pour le présent annuaire, les modifications suivantes sont à noter:*

- *Le rapport annuel publié dans "Les Alpes" pour les années concernées a été retravaillé comme de coutume dans l'annuaire, bien qu'il ait subi des modifications (p.ex. le résumé présenté à la page XI).*
- *Le nouveau tableau 3.4, dans lequel les glaciers ont été classés selon le nombre d'années de crue dans la période 1965-1985, est présenté exceptionnellement (p. 58).*
- *La version corrigée du tableau 5.4 (incomplet) du volume précédent se trouve à la page 101 du présent volume.*

## INTRODUCTION

*Les rapports glaciologiques nos. 1 à 83 (1880 à 1961/62) sont édités en langue française. Les rapports nos. 84 à 94 (1962/63 à 1972/73) ont paru en deux éditions parallèles, l'une rédigée en allemand, l'autre traduite en français. A partir du no. 95 (1973/74), les rapports sont édités sous forme d'annuaire, qui réunit dans un volume bilingue les rapports de deux années. Les tableaux et les figures qui se rapportent séparément à l'une et à l'autre des deux années, sont rédigés en allemand pour la première, en français pour la deuxième année. Les autres tableaux et figures sont bilingues. Les notes explicatives concernant la variation en longueur d'un glacier particulier (chap. 3.4) ne sont données, en règle générale, que dans la langue de l'observateur, soit en allemand, en français ou en italien. Les textes, les tableaux et les illustrations de l'annuaire ont été publiés en partie dans la revue trimestrielle du Club alpin suisse "Les Alpes" [Aellen, 1989 et 1990].*

*Le présent volume (109<sup>e</sup> et 110<sup>e</sup> rapports) concerne les années 1987/88 et 1988/89.*

*La description des conditions météorologiques et climatiques des années du rapport (chap. 1.2 et 1.3) se fonde sur les sources citées dans la liste des références (chap. 7).*

*Des vols photogrammétriques (tabl. 2.1) sont effectués, chaque année, par l'Office fédéral de la topographie (S+T) ou par la Direction fédérale des mensurations cadastrales (D+M). L'Institut géodésique de l'EPF Zurich et divers bureaux de géomètres officiels participent aux mensurations ou aux restitutions photogrammétriques (chap. 2).*

*Les institutions et les collaborateurs individuels, qui effectuent les mesures annuelles sur les fronts glaciaires (chap. 3), sont cités dans les chapitres 2.1 et 2.2.*

*Les photos et les légendes y relatives (chap. 4) sont tirées de la revue citée "Les Alpes".*

*Les informations sur les bilans de masse glaciaire (chap. 5) se fondent sur divers programmes de recherches à long terme cités dans l'introduction (chap. 5.1). La contribution des VAW/EPFZ (chap. 5.2 et 5.3) est basée sur des données qui ont été traitées par M. Funk (glacier et bassin du Rhône, glaciers de Gries et de Silvretta, bassin versant de l'Aegina) et par M. Aellen (glaciers d'Aletsch, bassin de la Massa). Les mensurations aux glaciers de l'Aar (chap. 5.4) sont effectuées par le bureau A. Flotron, Meiringen, à la demande des Forces motrices de l'Oberhasli, qui mettent ces informations annuelles à disposition. Les relevés annuels sur l'accumulation nivale sur quelques glaciers (chap. 5.5) sont effectués par les collaborateurs cités dans les chapitres respectifs (chap. 5.5.2-5.5.4).*

*Le résumé de chaque chapitre est donné, en anglais, dans le chapitre 6.*

*La liste collective des références citées se trouve dans le chapitre terminal (chap. 7). D'autres publications glaciologiques produites par des auteurs suisses ou concernant la Suisse sont citées dans la "Bibliographia scientiae naturalis Helvetica", éditée par la Bibliothèque nationale suisse.*

## RESUME

1987/88

*Dans le cadre des observations annuelles nécessaires à l'étude des variations des glaciers des Alpes suisses, on a mesuré 107 langues glaciaires en automne 1988, parmi lesquelles 27 ont avancé, 74 ont reculé et 6 sont restées stationnaires. Ce résultat montre que l'exercice 1987/88 s'est signalé par un retrait très sensible. L'étude du bilan de masse de quelques glaciers confirme et parachève ce constat: les masses de glace ont diminué beaucoup plus que la normale dans les régions méridionales, et modérément, c'est-à-dire à peu près selon la moyenne pluriannuelle, dans les régions septentrionales. Ce retrait est dû à une ablation extraordinairement active pendant les longues périodes de chaleur estivale, même sur les parties les plus élevées des glaciers. Toutefois, les forts accroissements du manteau neigeux survenus en mars et au début de juin ont retardé la période de fusion et empêché des pertes de masse encore plus importantes, telles qu'elles peuvent se produire après des hivers doux et pauvres en neige.*

1988/89

*Dans le cadre des observations annuelles nécessaires à l'étude des variations des glaciers des Alpes suisses, on a mesuré, en automne 1989, pour la 110<sup>e</sup> fois consécutive depuis 1880, 105 langues glaciaires, parmi lesquelles 19 ont avancé, 83 ont reculé et 3 sont restées stationnaires. Ce résultat, légèrement inférieur à la moyenne de la phase de décrue 1927-1964, montre que l'exercice 1988/89 se range parmi les années de retrait prononcé. L'étude du bilan de masse révèle une situation analogue à celle de l'année précédente: dans les contrées méridionales des Alpes suisses, nous assistons à un des retraits les plus importants depuis 1961, tandis que les masses de glace des régions septentrionales ont à peu près diminué selon le rythme pluriannuel. Cette perte différenciée est due à une ablation supérieure à la norme, surtout au sud. Elle a nettement dépassé l'accroissement excédentaire du manteau neigeux hivernal au nord, malgré un ralentissement dû à plusieurs chutes de neige pendant la seconde moitié de l'été. Les vitesses d'écoulement assez faibles de la glace ont déterminé une alimentation réduite des zones d'ablation de la majorité des glaciers, provoquant un déséquilibre favorable au retrait des langues glaciaires.*

*Pour la sixième fois consécutive, l'année 1988/89 a été caractérisé par un hiver doux, un printemps très neigeux et de longues chaleurs estivales. Pendant ces six ans, un grand nombre de glaciers ont subi des pertes plus ou moins importantes dans leurs bilans de masse, ce qui a considérablement réduit leur vitesse d'écoulement, qui est tombée à un minimum en 1988 et en 1989. La diminution de l'afflux de glace vers les langues glaciaires et l'ablation renforcée de ces dernières années ont interrompu l'allongement de nombreux glaciers et les ont contraints à reculer. Plusieurs fronts glaciaires se sont déjà nettement détachés de leurs moraines frontales toutes récentes et pas encore colonisées par la végétation; leur position correspond à peu près à celle du début des années cinquante.*

## **REMERCIEMENTS**

*La Commission des glaciers remercie tous les observateurs et toutes les autres personnes ou institutions qui apportent, chaque année ou occasionnellement, leur contribution à ses relevés, ses recherches ou ses rapports. Elle remercie en particulier les observateurs, les collaborateurs et les membres de la commission cités dans la chronique des glaciers ou ailleurs dans cet annuaire, avant tout ceux qui, au cours des années du rapport, ont pris leur retraite, ainsi que leurs successeurs et les nombreuses personnes ou institutions non citées qui, en travaillant à l'arrière plan, nous font profiter de tant de services que, bien entendu, nous apprécions toujours, mais assez souvent sans l'exprimer.*

*La Commission des glaciers remercie en particulier les Laboratoires de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques (VAW) de l'Ecole polytechnique fédérale à Zurich (EPFZ) pour l'accomplissement annuel des relevés, de leur dépouillement et de la rédaction des rapports glaciologiques. En outre, elle remercie les personnes qui ont accompli les travaux de traduction, notamment C. Aubert, Borex, qui a traduit en français les rapports publiés dans la revue "Les Alpes".*

# INHALT

<b>1. KLIMA UND WITTERUNG</b>	<b>1</b>
1.1 Einleitung	1
1.2 Klima und Witterung 1987/88	3
1.3 Klima und Witterung 1988/89	5
<b>2. CHRONIK</b>	<b>25</b>
2.1 Tätigkeit und Ereignisse 1987/88	25
2.2 Tätigkeit und Ereignisse 1988/89	28
<b>3. LÄNGENÄNDERUNG</b>	<b>43</b>
3.1 Einleitung	43
3.2 Längenänderung 1987/88	44
3.3 Längenänderung 1988/89	45
3.4 Bemerkungen zu einzelnen Gletschern	59
<b>4. BILDTEIL</b>	<b>79</b>
4.1 Bildfolge 1987/88	79
4.2 Bildfolge 1988/89	83
<b>5. MASSENHAUSHALT</b>	<b>87</b>
5.1 Einleitung	87
5.2 Massenänderung 1987/88	89
5.3 Massenänderung 1988/89	90
5.4 Aaregletscher	102
5.5 Schnee- und Firnzuwachs	106
5.5.1 Einleitung	106
5.5.2 Clariden	106
5.5.3 Silvretta und Engadin	110
5.5.4 Jungfraufirn (Aletschgletscher)	114
5.5.5 Accumulation nivale (Aperçu)	116
<b>6. SUMMARY</b>	<b>117</b>
6.1 Introduction	117
6.2 Climate and Weather	118
6.3 Chronicle	118
6.4 Length variations	118
6.5 Photo Section	119
6.6 Mass Balance	119
<b>7. LITERATUR</b>	<b>121</b>

## CONTENU

<b>1. CONDITIONS CLIMATIQUES</b>	<b>9</b>
1.1 <i>Introduction</i>	9
1.2 <i>Conditions climatiques 1987/88</i>	11
1.3 <i>Conditions climatiques 1988/89</i>	13
<b>2. CHRONIQUE</b>	<b>31</b>
2.1 <i>Activité et événements 1987/88</i>	31
2.2 <i>Activité et événements 1988/89</i>	34
<b>3. VARIATIONS DE LONGUEUR</b>	<b>47</b>
3.1 <i>Introduction</i>	47
3.2 <i>Variations de longueur 1987/88</i>	48
3.3 <i>Variations de longueur 1988/89</i>	49
3.4 <i>Remarques concernant des glaciers individuels</i>	59
<b>4. ILLUSTRATIONS PHOTOGRAPHIQUES</b>	<b>81</b>
4.1 <i>Photos 1987/88</i>	81
4.2 <i>Photos 1988/89</i>	85
<b>5. BILANS DE MASSE</b>	<b>91</b>
5.1 <i>Introduction</i>	91
5.2 <i>Bilan de masse 1987/88</i>	92
5.3 <i>Bilan de masse 1988/89</i>	93
5.4 <i>Glaciers de l'Aar</i>	102
5.5 <i>Accumulation nivale</i>	106
5.5.1 <i>Introduction</i>	106
5.5.2 <i>Clariden</i>	106
5.5.3 <i>Silvretta et Engadine</i>	110
5.5.4 <i>Jungfraufirn (Glacier d'Aletsch)</i>	114
5.5.5 <i>Accumulation nivale (Aperçu)</i>	116
<b>6. SUMMARY</b>	<b>117</b>
6.1 <i>Introduction</i>	117
6.2 <i>Climate and Weather</i>	118
6.3 <i>Chronicle</i>	118
6.4 <i>Length Variations</i>	118
6.5 <i>Photo Section</i>	119
6.6 <i>Mass Balance</i>	119
<b>7. REFERENCES</b>	<b>121</b>

# TABLE OF CONTENTS

<b>1. CLIMATE AND WEATHER</b>	<b>1</b>
1.1 Introduction	1
1.2 Climate and Weather 1987/88	3
1.3 Climate and Weather 1988/89	5
<b>2. CHRONICLE</b>	<b>25</b>
2.1 Activities and Events 1987/88	25
2.2 Activities and Events 1988/89	28
<b>3. LENGTH VARIATIONS</b>	<b>43</b>
3.1 Introduction	43
3.2 Length Variations 1987/88	44
3.3 Length Variations 1988/89	45
3.4 Remarks on individual Glaciers	59
<b>4. PHOTO SECTION</b>	<b>79</b>
4.1 Photos 1987/88	79
4.2 Photos 1988/89	83
<b>5. MASS BALANCE</b>	<b>87</b>
5.1 Introduction	87
5.2 Mass Balance 1987/88	89
5.3 Mass Balance 1988/89	90
5.4 Aare Glaciers	102
5.5 Snow and Firn Accumulation	106
5.5.1 Introduction	106
5.5.2 Clariden Glacier	106
5.5.3 Silvretta Glacier and Engadine Region	110
5.5.4 Jungfraufirn (Aletsch Glacier)	114
5.5.5 Accumulation nivale (Aperçu)	116
<b>6. SUMMARY</b>	<b>117</b>
6.1 Introduction	117
6.2 Climate and Weather	118
6.3 Chronicle	118
6.4 Length Variations	118
6.5 Photo Section	119
6.6 Mass Balance	119
<b>7. LITERATURE</b>	<b>121</b>

## TABELLEN

<b>Tabelle 1.1:</b>	Lufttemperatur 1988 - Gradtagssummen Mai-Oktober	16
	a) Absolute Werte	16
	b) Relative Werte	16
<b>Tabelle 1.2:</b>	Lufttemperatur 1989 - Gradtagssummen Mai-Oktober	17
	a) Absolute Werte	17
	b) Relative Werte	17
<b>Tabelle 2.1:</b>	Vermessungsflüge 1988 und 1989	37
	a) Jährlich	37
	b) Mehrjährlich	40
<b>Tabelle 3.1:</b>	Längenänderung 1987/88 - Zusammenfassungen	50
	a) Einzugsgebiete	50
	b) Gebirgsregionen	50
<b>Tabelle 3.2:</b>	Längenänderung 1988/89 - Zusammenfassungen	51
	a) Einzugsgebiete	51
	b) Gebirgsregionen	51
<b>Tabelle 3.3:</b>	Längenänderung 1987/88 und 1988/89	55
<b>Tabelle 3.4:</b>	Längenänderung 1965-1988: Zahl der Jahre mit Zuwachs	58
<b>Tabelle 5.1:</b>	Massenänderung 1987/88 und 1988/89	94
<b>Tabelle 5.2:</b>	Wasserhaushalt vergletschter Einzugsgebiete 1987/88 und 1988/89	95
	a) Ägina (Griesgletscher)	95
	b) Massa (Aletschgletscher)	96
	c) Rhone (bis Genfersee)	97
<b>Tabelle 5.3:</b>	Griesgletscher (Ägina) - Massenänderung 1987/88 und 1988/89 in Höhenstufen	100
<b>Tabelle 5.4:</b>	Silvrettagletscher - Massenänderung 1987/88 und 1988/89 in Höhenstufen	101
<b>Tabelle 5.5:</b>	Aaregletscher 1987/88	104
	a) Dickenänderung und Bewegung	104
	b) Flächen- und Volumenänderung	104
<b>Tabelle 5.6:</b>	Aaregletscher 1988/89	105
	a) Dickenänderung und Bewegung	105
	b) Flächen- und Volumenänderung	105

<b>Tabelle 5.7:</b>	Claridenfirn 1987/88	108
	a) Schnee- und Firnzuwachs, Dickenänderung und Bewegung	108
	b) Saison- und Jahresniederschlag	108
<b>Tabelle 5.8:</b>	Claridenfirn 1988/89	109
	a) Schnee- und Firnzuwachs, Dickenänderung und Bewegung	109
	b) Saison- und Jahresniederschlag	109
<b>Tabelle 5.9:</b>	Silvrettagletscher - Firnzuwachs 1987/88 und 1988/89	112
<b>Tabelle 5.10:</b>	Berninagebiet	113
	a) Firnzuwachs und Dickenänderung 1987/88 und 1988/89	113
	b) Firnzuwachs - Mehrjahreswerte	113
<b>Tabelle 5.11:</b>	Jungfraufirn - Schnee- und Firnzuwachs, Dickenänderung und Bewegung 1987/88	115
<b>Tabelle 5.12:</b>	Jungfraufirn - Schnee- und Firnzuwachs, Dickenänderung und Bewegung 1988/89	115

## TABLEAUX

<b>Tableau 1.1:</b>	<i>Température de l'air 1988 - Sommes des degrés-jour mai-octobre</i>	16
	a) Valeurs absolues	16
	b) Valeurs relatives	16
<b>Tableau 1.2:</b>	<i>Température de l'air 1989 - Sommes des degrés-jour mai-octobre</i>	17
	a) Valeurs absolues	17
	b) Valeurs relatives	17
<b>Tableau 2.1:</b>	<i>Vols photogrammétriques 1988 et 1989</i>	37
	a) Annuels	37
	b) Pluriannuels	40
<b>Tableau 3.1:</b>	<i>Variations de longueur 1987/88 - Récapitulations</i>	50
	a) Bassins versants	50
	b) Régions orographiques	50
<b>Tableau 3.2:</b>	<i>Variations de longueur 1988/89 - Récapitulations</i>	51
	a) Bassins versants	51
	b) Régions orographiques	51
<b>Tableau 3.3:</b>	<i>Variations de longueur 1987/88 et 1988/89</i>	55
<b>Tableau 3.4:</b>	<i>Variations de longueur 1965-1988: Nombre des années de crue</i>	58
<b>Tableau 5.1:</b>	<i>Bilans de masse 1987/88 et 1988/89</i>	94
<b>Tableau 5.2:</b>	<i>Bilans hydrologiques 1987/88 et 1988/89 de bassins versants en-glacés</i>	95
	a) Aegina (glacier de Gries)	95
	b) Massa (glaciers d'Aletsch)	96
	c) Rhône (à l'amont du Léman)	97
<b>Tableau 5.3:</b>	<i>Glacier de Gries (Aegina) - Bilans de masse 1987/88 et 1988/89 en fonction de l'altitude</i>	100
<b>Tableau 5.4:</b>	<i>Glacier de Silvretta - Bilans de masse 1987/88 et 1988/89 en fonction de l'altitude</i>	101
<b>Tableau 5.5:</b>	<i>Glaciers de l'Aar 1987/88</i>	104
	a) Variations d'épaisseur et du mouvement	104
	b) Variations de surface et du volume	104
<b>Tableau 5.6:</b>	<i>Glaciers de l'Aar 1988/89</i>	105
	a) Variations d'épaisseur et du mouvement	105
	b) Variations de surface et du volume	105

<b>Tableau 5.7:</b>	<i>Glacier de Clariden 1987/88</i>	108
	a) <i>Accumulation nivale, variations d'épaisseur et mouvement</i>	108
	b) <i>Pluviosités saisonnière et annuelle</i>	108
<b>Tableau 5.8:</b>	<i>Glacier de Clariden 1988/89</i>	109
	a) <i>Accumulation nivale, variations d'épaisseur et mouvement</i>	109
	b) <i>Pluviosités saisonnière et annuelle</i>	109
<b>Tableau 5.9:</b>	<i>Glacier de Silvretta - Accumulation nivale 1987/88 et 1988/89</i>	112
<b>Tableau 5.10:</b>	<i>Massif de la Bernina</i>	113
	a) <i>Accumulation nivale et variations d'épaisseur 1987/88 et 1988/89</i>	113
	b) <i>Accumulation nivale - Valeurs pluriannuelles</i>	113
<b>Tableau 5.11:</b>	<i>Jungfraufirn - Accumulation nivale, variations d'épaisseur et mouvement 1987/88</i>	115
<b>Tableau 5.12:</b>	<i>Jungfraufirn - Accumulation nivale, variations d'épaisseur et mouvement 1988/89</i>	115

## TABLES

<b>Table 1.1:</b>	Air temperature 1988 - Degree-days Mai-October	16
	a) Absolute values	16
	b) Relative values	16
<b>Table 1.2:</b>	Air temperature 1989 - Degree-days Mai-October	17
	a) Absolute values	17
	b) Relative values	17
<b>Table 2.1:</b>	Aerial survey of glaciers 1988 and 1989	37
	a) Annual intervals	37
	b) Intervals of several years	40
<b>Table 3.1:</b>	Length variations 1987/88 - Summary	50
	a) River basins	50
	b) Mountain regions	50
<b>Table 3.2:</b>	Length variations 1988/89 - Summary	51
	a) River basins	51
	b) Mountain regions	51
<b>Table 3.3:</b>	Length variations 1987/88 and 1988/89	55
<b>Table 3.4:</b>	Length variations 1965-1988: Years of advance	58
<b>Table 5.1:</b>	Mass balances 1987/88 and 1988/89	94
<b>Table 5.2:</b>	Hydrological balances 1987/88 and 1988/89 of glaciated river basins	95
	a) Aegina (Gries glacier)	95
	b) Massa (Aletsch glaciers)	96
	c) Rhone (above lake of Geneva)	97
<b>Table 5.3:</b>	Gries glacier (Aegina) - Mass balances 1987/88 and 1988/89 versus altitude	100
<b>Table 5.4:</b>	Silvretta glacier - Mass balances 1987/88 and 1988/89 versus altitude	101
<b>Table 5.5:</b>	Oberaar and Unteraar glaciers 1987/88	104
	a) Change of thickness and movement	104
	b) Change of area and volume	104
<b>Table 5.6:</b>	Oberaar and Unteraar glaciers 1988/89	105
	a) Change of thickness and movement	105
	b) Change of area and volume	105

<b>Table 5.7:</b>	Clariden glacier 1987/88	108
	a) Snow and firn accumulation, change of thickness and movement	108
	b) Seasonal and annual precipitation	108
<b>Table 5.8:</b>	Clariden glacier 1988/89	109
	a) Snow and firn accumulation, change of thickness and movement	109
	b) Seasonal and annual precipitation	109
<b>Table 5.9:</b>	Silvretta glacier - Firn accumulation 1987/88 and 1988/89	112
<b>Table 5.10:</b>	Glaciers of the Bernina group	113
	a) Firn accumulation and change of thickness 1987/88 and 1988/89	113
	b) Firn accumulation - Values of several years	113
<b>Table 5.11:</b>	Jungfraufirn - Snow and firn accumulation, change of thickness and movement 1987/88	115
<b>Table 5.12:</b>	Jungfraufirn - Snow and firn accumulation, change of thickness and movement 1988/89	115

## ABBILDUNGEN

<b>Abbildung 1.1:</b> Witterung 1987/88	18
a) Zürich: Lufttemperatur und Niederschlag	18
b) Jungfrauoch: Lufttemperatur	19
c) Payerne: Nullgrad-Isotherme	19
d) Säntis: Niederschlag	19
<b>Abbildung 1.2:</b> Witterung 1988/89	20
a) Zürich: Lufttemperatur und Niederschlag	20
b) Jungfrauoch: Lufttemperatur	21
c) Payerne: Nullgrad-Isotherme	21
d) Säntis: Niederschlag	21
<b>Abbildung 1.3:</b> Klima 1987/88 - Abweichungen vom Normalwert 1901-1960	22
a) Jahresniederschlag 1987/88	22
b) Sommertemperatur 1988	22
<b>Abbildung 1.4:</b> Klima 1988/89 - Abweichungen vom Normalwert 1901-1960	23
a) Jahresniederschlag 1988/89	23
b) Sommertemperatur 1989	23
<b>Abbildung 3.1:</b> Gletscherbeobachtungsnetz 1988	52
a) Beobachtungen 1988	52
b) Längenänderungen 1988	52
<b>Abbildung 3.2:</b> Gletscherbeobachtungsnetz 1989	53
a) Beobachtungen 1989	53
b) Längenänderungen 1989	53
<b>Abbildung 3.3:</b> Längenänderung - Statistik 1880-1989	54
a) Stichproben	54
b) Anteile der wachsenden, stationären und schwindenden Gletscher	54
c) Mittlere Längenänderung	54
<b>Abbildung 5.1:</b> Einzugsgebiet Massa (Aletschgletscher) - Wasserhaushalt 1987/88 und 1988/89	98
a) Niederschlag, Abfluss und Reservenänderung - Tageswerte	98
b) Reservenänderung - Jahresgang und Vergleichswerte	98
<b>Abbildung 5.2:</b> Einzugsgebiet Rhone (bis Genfersee) - Reservenänderung 1987/88 und 1988/89: Jahresgang und Vergleichswerte	99
<b>Abbildung 5.3:</b> Aaregletscher - Lage der Querprofile	103

## FIGURES

<b>Figure 1.1:</b> Conditions météorologiques 1987/88	18
a) Zurich: Température de l'air et pluviosité	18
b) Jungfrauoch: Température de l'air	19
c) Payerne: Isotherme zéro degré	19
d) Saentis: Pluviosité	19
<b>Figure 1.2:</b> Conditions météorologiques 1988/89	20
a) Zurich: Température de l'air et pluviosité	20
b) Jungfrauoch: Température de l'air	21
c) Payerne: Isotherme zéro degré	21
d) Saentis: Pluviosité	21
<b>Figure 1.3:</b> Conditions climatiques 1987/88 - Ecart par rapport à la norme 1901-1960	22
a) Pluviosité 1987/88	22
b) Température estivale 1988	22
<b>Figure 1.4:</b> Conditions climatiques 1988/89 - Ecart par rapport à la norme 1901-1960	23
a) Pluviosité 1988/89	23
b) Température estivale 1989	23
<b>Figure 3.1:</b> Réseau d'observations glaciaires 1988	52
a) Observations 1988	52
b) Variations de longueur 1988	52
<b>Figure 3.2:</b> Réseau d'observations glaciaires 1989	53
a) Observations 1989	53
b) Variations de longueur 1989	53
<b>Figure 3.3:</b> Variations de longueur - Statistique 1880-1989	54
a) Echantillons	54
b) Parts relatives des glaciers en crue, stationnaires ou en décrue	54
c) Variation moyenne de longueur	54
<b>Figure 5.1:</b> Bassin versant de la Massa (glaciers d'Aletsch) - Bilans hydrologiques 1987/88 et 1988/89	98
a) Précipitations, débits et variations des réserves en eau - Valeurs quotidiennes	98
b) Variations des réserves en eau - Evolution et valeurs statistiques	98
<b>Figure 5.2:</b> Bassin versant du Rhône (à l'amont du Léman) - Variations des réserves en eau 1987/88 et 1988/89: Evolution et valeurs statistiques	99
<b>Figure 5.3:</b> Glaciers de l'Aar - Situation des profils transversaux	103

## FIGURES

<b>Figure 1.1:</b> Weather 1987/88	18
a) Zurich: Air temperature and precipitation	18
b) Jungfrauoch: Air temperature	19
c) Payerne: Zero degree isothermal surface	19
d) Saentis: Precipitation	19
<b>Figure 1.2:</b> Weather 1988/89	20
a) Zurich: Air temperature and precipitation	20
b) Jungfrauoch: Air temperature	21
c) Payerne: Zero degree isothermal surface	21
d) Saentis: Precipitation	21
<b>Figure 1.3:</b> Climate 1987/88 - Deviations from the norm 1901-1960	22
a) Annual precipitation 1987/88	22
b) Mean summer air temperature 1988	22
<b>Figure 1.4:</b> Climate 1988/89 - Deviations from the norm 1901-1960	23
a) Annual precipitation 1988/89	23
b) Mean summer air temperature 1989	23
<b>Figure 3.1:</b> Glacier observation network 1988	52
a) Observed glaciers 1988	52
b) Length variations 1988	52
<b>Figure 3.2:</b> Glacier observation network 1989	53
a) Observed glaciers 1989	53
b) Length variations 1989	53
<b>Figure 3.3:</b> Length variations - Statistics 1880-1989	54
a) Samples	54
b) Percentages of advancing, stationary and retreating glaciers	54
c) Mean length variations	54
<b>Figure 5.1:</b> Massa river basin (Aletsch glaciers) - Hydrological balances 1987/88 and 1988/89	98
a) Precipitation, run-off and variations of water storage - Daily values	98
b) Variations of water storage - Evolution and statistical values	98
<b>Figure 5.2:</b> Rhone river basin (above Lake of Geneva) - Variations of water storage 1987/88 and 1988/89: Evolution and statistical values	99
<b>Figure 5.3:</b> Oberaar and Unteraar glaciers - Location of the profiles	103

# BILDER

<b>Bilder 1 - 5:</b>	Fieschergletscher: Drittgrösster Alpengletscher stösst vor	79
<b>Bilder 6 und 7:</b>	Grosser Aletsch: Grösster Alpengletscher stösst noch nicht vor	79
<b>Bilder 8 - 10:</b>	Findelengletscher: Testbohrungen mit verbessertem Heisswasser-Tiefbohrgerät	79
<b>Bilder 11 und 12:</b>	Jakobshavn Gletscher (Westgrönland)	80
<b>Bilder 13 und 14:</b>	Glacier de Corbassière: Tiefensondierungen	80
<b>Bild 15:</b>	Giétrogletscher am 8. September 1989	83
<b>Bild 16:</b>	Steinlimmigletscher am 5. Juli 1989	83
<b>Bilder 17 und 18:</b>	Steingletscher am 5. Juli 1989	83
<b>Bilder 19 - 24:</b>	Auslotung des Gletscherbetts auf dem Colle Gnifetti	83
<b>Bilder 25 und 26:</b>	75 Jahre Clariden-Firmmessungen	84
<b>Bilder 27 - 30:</b>	Gletscherkalbungen in Südgrönland	84

## *ILLUSTRATIONS*

<i>Photos 1 - 5:</i>	Glacier de Fiesch: Ce glacier, le troisième des Alpes par ses dimensions, commence enfin sa phase de crue	81
<i>Photos 6 et 7:</i>	Le Grand glacier d'Aletsch: Le plus grand glacier des Alpes n'avance pas encore	81
<i>Photos 8 - 10:</i>	Glacier de Findelen: Forages d'essai exécutés avec un type amélioré de foreuse à eau bouillante	82
<i>Photo 11 et 12:</i>	Glacier de Jacobshavn (ouest du Groenland)	82
<i>Photos 13 et 14:</i>	Glacier de Corbassière: sondages en profondeur	82
<i>Photo 15:</i>	Glacier de Giétro, le 8 septembre 1989	85
<i>Photo 16:</i>	Glacier de Steinlimmi, le 5 juillet 1989	85
<i>Photos 17 et 18:</i>	Glacier de Stein, le 5 juillet 1989	85
<i>Photos 19 - 24:</i>	Echosondages du lit du glacier du col de Gnifetti	85
<i>Photos 25 et 26:</i>	75 ans de mesures du névé des Clariden	86
<i>Photos 27 - 30:</i>	Fronts de vélages au sud du Groenland	86

## PICTURES

<b>Photos 1 - 5:</b>	Fiescher glacier: Third in size among the glaciers of the Alps is advancing	79
<b>Photos 6 and 7:</b>	Great Aletsch glacier: Largest glacier of the Alps is not advancing yet	79
<b>Photos 8 - 10:</b>	Findelen glacier: Testing the improved hot-water-drill	79
<b>Photos 11 and 12:</b>	Jakobshavn glacier (West Greenland): Measuring water pressure and ice temperatures in deep boreholes	80
<b>Photos 13 and 14:</b>	Corbassière glacier: Ice thickness measurements by radio-echo sounding	80
<b>Photo 15:</b>	Giétro glacier on 8 September 1989	83
<b>Photo 16:</b>	Steinlimmi glacier on 5 July 1989	83
<b>Photos 17 and 18:</b>	Stein glacier on 5 July 1989	83
<b>Photos 19 - 24:</b>	Ice thickness measurements by radio-echo sounding on Colle Gnifetti	83
<b>Photos 25 and 26:</b>	75 years of firn measurements on Clariden glacier	84
<b>Photos 27 - 30:</b>	Calving front of Nordbo glacier (South Greenland)	84

# 1. KLIMA UND WITTERUNG

## 1.1 EINLEITUNG

Die Abbildungen 1.1 und 1.2 zeigen den Witterungsverlauf während der Berichtsjahre anhand der Tageswerte der Lufttemperatur, des Niederschlags und der Höhe der Nullgradisotherme an einzelnen Stationen. Die Lufttemperatur ist dargestellt durch die Tagesmittel der Station Jungfrauoch, indem für jeden Tag der aktuelle Wert [SMA, 1987-89a] und der langjährige Mittelwert [Schüepp, 1972] aufgezeichnet sind. Der Niederschlag ist angegeben durch die Tagessummen [SMA, 1987-89b] der Station Säntis. Die Höhe der Nullgradisotherme über der aerologischen Station Payerne ist gemäss den Sondierungen um 13 Uhr aus den Temperaturprofilen in den täglichen Wetterberichten [SMA, 1987-89c] interpoliert, wobei für Inversionslagen mit mehr als einem Nullgrad-Höhenwert jeweils der höchste eingezeichnet ist. Zudem ist für jeden Tag der langjährige Mittelwert der Nullgradgrenze [Güller, 1978] aufgetragen. Die Unregelmässigkeiten dieser Mittelwertskurve sind - im Gegensatz zu den Temperatur-Mittelwertskurven - nicht ausgeglichen.

Die dargestellten Zeitreihen geben ein generelles Bild des Jahresgangs der Lufttemperatur und der zeitlichen Verteilung des Niederschlags in den Berichtsjahren und in unterschiedlichen Klimaregionen. Die geringe Zahl der ausgewählten Stationen bringt die zeitweise beträchtlichen Unterschiede in den regionalen Witterungs- und Klimaverhältnissen unseres vielfältig gegliederten Landes jedoch nur andeutungsweise zum Ausdruck. Nähere Angaben hiezu sind zusammengefasst im Text (Kap. 1.2 und 1.3) und ausführlicher in den benutzten Quellen [SMA, 1987-89d] enthalten. Um die klimatischen Bedingungen, denen die Gletscher einer Region oder einzelne Gletscher in den Berichtsjahren ausgesetzt waren, genauer zu beschreiben oder zahlenmässig zu erfassen, ist auf die Ergebnisse der Temperatur- und vor allem der Niederschlagsmessungen an möglichst vielen, von Fall zu Fall auszuwählenden Stationen zurückzugreifen.

In den Abbildungen 1.3 und 1.4 sind die regionalen Unterschiede einzelner, für den Massenhaushalt der Gletscher massgeblicher Klimaelemente in vereinfachter Form graphisch dargestellt durch die Grössen Jahresniederschlag (Abb. 1.3a und 1.4a) und Sommertemperatur (Abb. 1.3b und 1.4b), indem für eine grössere Zahl von Messstationen die Abweichung des aktuellen Werts vom Normalwert nach statistischen Regeln normiert [Kasser, 1983] und demgemäss in Zonen gleicher Abweichung zusammengefasst und kartographisch dargestellt ist. Die Stationen, die als Stützstellen dienen, sind als Punkte eingezeichnet. Als Normalwert wird der Zentralwert der langjährigen Messreihe, die in der Regel der Periode 1901-1960 entspricht, verwendet. Der Zentralwert einer Messreihe wird von der Hälfte der Einzelwerte übertroffen oder unterschritten. Je mehr ein Einzelwert vom Zentralwert abweicht, desto seltener tritt er auf. Nach der Häufigkeit des Auftretens gleicher Werte in der Referenzperiode werden die Werte des Berichtsjahres einer der fünf Klassen -2, -1, 0, +1 oder +2 zugeteilt. Werte, die mit geringer positiver oder negativer Abweichung je einmal in vier Jahren auftreten, werden als normal bezeichnet und in der Klasse '0' zusammengefasst. Sie befinden sich in den entsprechend bezeichneten Zonen der Abbildungen. Die stark abweichenden Werte der Klassen '-1' und '+1' kommen durchschnittlich je einmal in vier bis zwölf Jahren vor, die sehr stark abweichenden Werte der Klassen '-2' und '+2' seltener als einmal in

zwölf Jahren. Gelegentlich ergibt sich für einzelne Stationen ein Wert ausserhalb dieser fünf Klassen. Dabei handelt es sich um Extremwerte, die nach der Statistik seltener als einmal in 45 Jahren zu erwarten sind. Sie sind in den stark vereinfachten Darstellungen nicht besonders bezeichnet.

Die Vorbehalte, die in den vorangehenden Berichten hinsichtlich der Vergleichbarkeit der dargestellten Klimadaten mit der Massenänderung der Gletscher und bezüglich der Homogenität der Messreihen namentlich seit Einführung der automatischen Wetterbeobachtung angebracht sind, gelten weiterhin uneingeschränkt [Schüepp, 1983].

In den Tabellen 1.1 und 1.2 sind die Summen der positiven Tagesmittel der Lufttemperatur, die sich aus den Messungen an einigen Höhenstationen der Schweiz und für die aerologischen Stationen München, Payerne und Mailand ergeben, zusammengestellt mit den Werten, die berechnet sind für einige Pegelstandorte, an denen der jährliche Firnzuwachs erfasst wird (Kap. 5.5).

Detaillierte Angaben über Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen sind im Winterbericht des SLF Weissfluhjoch-Davos zu finden [SLF, 1988 und 1989]. Der Abschnitt "Schnee und Lawinen" am Schluss der Kapitel 1.2 und 1.3 entfällt von nun an.

Die Angaben über die Abflussverhältnisse in den vergletscherten Einzugsgebieten [LHG, 1987-89] sind im vorliegenden Jahrbuch beschränkt auf kurze Hinweise im Text (Kap. 1.2 und 1.3), auf die Daten in Tabelle 5.2 und auf die Darstellung in Abbildung 5.1 (Kap. 5).

Die Beschreibung der Klima- und Witterungsverhältnisse (Kap. 1.2 und 1.3) entspricht bis auf notwendige Anpassungen der publizierten Fassung [Aellen, 1989a und 1990].

## 1.2 KLIMA UND WITTERUNG 1987/88

Der Witterungsverlauf hat sich im Berichtsjahr in mancher Hinsicht ähnlich abgespielt wie in den Vorjahren. Ungewöhnlich hohe Temperaturen und Schneemangel im Früh- und Hochwinter, kalte, zum Teil sehr niederschlagsreiche Perioden im Spätwinter und Frühjahr, lange, oft trockene Wärmeperioden und wenig Kälteeinbrüche im Hochsommer sind gemeinsame Kennzeichen der letzten Jahre. Der Witterungsverlauf des Berichtsjahrs ist veranschaulicht in den Beispielen der Abbildung 1.1. Vorwiegend positive Abweichungen der aktuellen Tageswerte von den eingetragenen langjährigen Mittelwerten kennzeichnen das Berichtsjahr.

Das Klima des Berichtsjahres - aus glaziologischer Sicht verallgemeinernd beschrieben - ist im Alpengebiet gekennzeichnet durch grossenteils normale, in den Föhngebieten geringe, in Süd- und Weststaulagen dagegen grosse bis sehr grosse Jahresmengen des Niederschlags und fast überall durch hohe bis sehr hohe Sommermittel der Lufttemperatur.

### Winter 1987/88

Eine Westwindlage mit stürmischem Südföhn und anschliessendem Kälteeinbruch hat um den 10. Oktober die Schmelzperiode des Sommers 1987 und damit den Jahreszyklus 1986/87 im Massenhaushalt der Gletscher ziemlich abrupt beendet. Ergiebige und ausgedehnte Niederschläge mit Schneefall bis in die Alpentäler ergaben in diesen Tagen erste, gebietsweise verhältnismässig grosse Rücklagen für den Haushaltszyklus des Berichtsjahrs. Mildes Wetter mit Westwind und weiteren Niederschlägen in der zweiten Oktoberhälfte, sonniges und trockenes Wetter in der ersten Novemberdekade verminderten diese Rücklagen alsbald auf oder unter das normale Mass. Dieses wurde während der folgenden vier Monate mit vorwiegend zu warmen, häufig auch zu trockenen Perioden eher unter- als überschritten. Im unvergletscherten Gebiet schmolz die frühe Schneedecke bis in hohe Lagen weitgehend weg. In der zweiten Novemberdekade mit wechselhaftem, zeitweise stürmischem Wetter breitete sich die Schneedecke schubweise bis in die Niederungen aus, das Berggebiet wurde dabei grossenteils bis in Tallagen dauernd eingeschneit. Der Alpennordhang jedoch aperte in der zweiten Dezemberhälfte wie mancher sonnige Ort der übrigen Gebiete bis in mittlere Höhen wieder aus. Hier wie dort stellte sich die dauernde Schneedecke erst nach dem Jahreswechsel, in der ersten oder in der letzten Januarwoche ein. Dezember und Januar waren ausnehmend warm, der Dezember im allgemeinen auch sehr trocken. Besonders gross war der Wärmeüberschuss im Dezember in den Berggebieten (bis 4.5 °C), im Januar in den Niederungen der Alpennordseite (bis 6 °C). Wärmerekorde verzeichneten Säntis (wärmster Dezember seit 105 Jahren) und Basel (wärmster Januar seit 150 Jahren).

In der letzten Februarwoche und in der ersten Märzhälfte verursachten polare Nordwest- bis Nordwinde auf der Alpennordseite hochwinterliche Verhältnisse mit strenger Kälte (zeitweise bis 6 °C unter normal) und Schnee bis in die Niederungen. Häufige und ergiebige Niederschläge in der zweiten Märzhälfte, verursacht durch milde, von stürmischen West- bis Nordwestwinden zugeführte Meeresluft, brachten dem Alpengebiet mit Ausnahme der Südseite überaus grossen Schneezuwachs und zahlreiche, z.T. ungewöhnliche Lawinenabgänge mit Schadenfolgen (u.a. Zerstörung der Cabane de Panossière).

Entsprechend der Niederschlagsverteilung wurde die grösste Schneehöhe des Winters in südlichen Gebieten und in tiefen Lagen der Westalpen anfangs oder Mitte März, sonst durchwegs Ende März oder anfangs April gemessen.

Bei übernormal warmen Temperaturen war es im April allgemein sehr trocken, im Mai im Süden und Westen sehr nass. In den tiefen und mittleren Lagen ging die Schneeschmelze rasch von statten. Mitte Mai waren nur hochgelegene Stationen noch nicht ausgeapert. Diese erhielten wie die Gletscherregionen anfangs Juni nochmals erheblichen Schneezuwachs. Um die Monatsmitte wurden Trübsee (1800 m) und Gütsch (2287 m) schneefrei. Auf Weissfluhjoch (2540 m) hielt sich die Winterschneedecke bis am 11. Juli, auf dem Säntis (2500 m) bis am 13. August.

### **Sommer 1988**

Nach dem kalten und nassen Monatsanfang blieb der Juni mehrheitlich trocken und warm. Im Berichtsjahr ist er der einzige Sommermonat mit (leicht) unternormalem Temperaturmittel. Trotz Kälteeinbrüchen um Mitte Juli, Ende August, anfangs und Mitte September war es in allen diesen Monaten deutlich wärmer als normal. Vom 18. Juli bis 20. August lag die Nullgradisotherme fast dauernd auf 4000 m Meereshöhe, oft deutlich darüber. In dieser Zeit wie auch schon in der zweiten Hälfte Juni war die Gletscherschmelze übermässig wirksam, nach Mitte August blieb sie bis anfangs Oktober in normalem Rahmen. Die Niederschlagsmengen wichen von Juni bis September in allen Monaten und in den meisten Gebieten wenig vom Normalwert ab. Ein Kälteeinbruch, erzeugt durch einflussende Polarluft bei starker Westströmung mit zeitweise stürmischen Winden, brachte am 8. Oktober Schneefall bis in die Alpentäler. Damit ging die Schmelzperiode 1988 und ebenso das Haushaltsjahr 1987/88 im vergletscherten Gebiet unvermittelt und überall gleichzeitig zu Ende. Reichliche Niederschläge in der ersten Oktoberhälfte lieferten der Alpennordseite bereits die normale Monatsmenge und bildeten erste, zum Teil beträchtliche Rücklagen für das folgende Haushaltsjahr. In den trockenen Wärmeperioden der zweiten Oktober- und der ersten Novemberhälfte kam die Schmelze teilweise wieder in Gang. Das unvergletscherte Gebiet aperte wie in den Vorjahren grossenteils nochmals aus, bevor sich von Mitte November an die Winterschneedecke ausbreitete.

### 1.3 KLIMA UND WITTERUNG 1988/89

Das Berichtsjahr 1988/89 ist bereits das sechste aufeinanderfolgende Jahr mit gemeinsamen Eigentümlichkeiten im Witterungsablauf. Im wesentlichen sind dies milde Trockenperioden im Früh- und Hochwinter, kühle Niederschlagsperioden im Spätwinter und Frühjahr, ausgesprochen warmes und gebietsweise trockenes Wetter im Sommer wie auch spätes Einschneien trotz frühen Schneefällen im Herbst. Unter solchen für das Wachstum der Gletscher von Jahr zu Jahr weniger günstigen Klimabedingungen hat eine Phase zunehmenden Schwundes die Wachstumsphase des 1980er Gletschervorstosses abgelöst.

Im Berichtsjahr traten Wärmeperioden, die oft mehrere Wochen dauerten, in allen Landesteilen und in allen Jahreszeiten, besonders im Hochwinter häufiger auf als Kälteperioden. Die dargestellte Niederschlagsreihe (Abb. 1.2) mit einer einzigen mehrwöchigen Trockenperiode im Januar ist für die niederschlagsreichen Gebiete am Alpennordrand repräsentativ.

Die Summe der Niederschläge von Oktober 1988 bis September 1989 (Abb. 1.3a) war meistens normal, im Jura und in den alpinen Föhngebieten der Ostschweiz viel bis sehr viel kleiner, in einigen Gebieten am nördlichen Alpenrand viel bis sehr viel grösser als normal. Die mittlere Lufttemperatur von Mai bis September 1989 (Abb. 1.3b) war überall höher als normal. Meistens war der Sommer warm bis sehr warm, gebietsweise auch extrem oder nur mässig warm.

#### Winter 1988/89

Mit dem Kälteeinbruch vom 5. Oktober, dem am 8. Oktober Schneefall bis in die Alpentäler folgte, ging die Schwundperiode 1988 und damit das Bilanzjahr 1987/88 im Massenhaushalt der Gletscher unvermittelt und überall fast gleichzeitig zu Ende. Weitere ergiebige Niederschläge in der ersten Oktoberhälfte brachten der Alpennordseite bereits die normale Monatsmenge, dem Gletschergebiet erste, verhältnismässig grosse Rücklagen für den Massenhaushalt im Bilanzjahr 1988/89. Trockene Wärmeperioden in der zweiten Oktober- und ersten Novemberhälfte setzten das Schmelzen auch auf den Gletschern soweit wieder in Gang, dass die Rücklagen auf durchschnittliche Werte schwanden. Ausserhalb der Gletscher schmolz die erste Schneelage wie in den Vorjahren grösstenteils weg. Im Oktober erhielten alle Regionen mehr als die normale Niederschlagsmenge, vor allem die Alpensüdseite (bis 200 % der Norm). Im November dagegen, der gebietsweise sehr trocken war, erhielten nur die Zentralschweiz und das Appenzellerland normale Mengen. Mit dem Kälteschub am 21. November stellte sich die erste Schneedecke, in der Folge auch starker Frost in den Niederungen ein. Wechselhaftes, anfänglich vorwiegend zu kaltes, in der letzten Dekade sehr mildes Wetter ergab für Dezember in der ganzen Schweiz einen Wärmeüberschuss, bis 3 °C in den Niederungen, bis 1 °C in den Hochlagen, und im Hochgebirge beträchtlichen Schneezuwachs. Bei grossen regionalen Unterschieden erreichte die Monatssumme des Niederschlags im Alpenraum und in der Ostschweiz 150 bis 250 %, im Tessin, Engadin und westlichen Mittelland gebietsweise nur etwa 50 % des Normalwerts.

Wetterbestimmend für den Januar war eine stabile Hochdrucklage über Mitteleuropa, die von Ende Dezember bis gegen Mitte Februar dauerte. Oberhalb der häufig vorhandenen Hochnebeldecke war es in dieser Zeit ausnehmend mild, trocken und sonnig. In Lagen oberhalb 1600 m lag das Januarmittel bis 6 °C über dem Normalwert. Auf dem Säntis war es der wärmste Januar in der seit 1882 laufenden Messreihe. Extrem trocken war es - wie oft um diese Jahreszeit, aber seit Messbeginn noch nie so lange - auf der Alpensüdseite, wo während der 77 Tage vom 6. Dezember bis 21. Februar kein messbarer Niederschlag fiel. Eher ungewohnt war die Trockenheit in der Ostschweiz, wo z.B. Zürich mit 7 mm Monatsniederschlag den trockensten Januar seit 1864 erlebte. Derweilen sanken die Rücklagen auf den Gletschern unter ihre normale Werte, vor allem infolge des fehlenden Zuwachses, teils auch durch Schmelzen oder Verdunsten. Gleiches gilt für die Schneedecke in höheren unvergletscherten Lagen, wo an manchem Sonnenhang ungewohnt stark entwickelte Büsserschneeformen entstanden. Wie alle tieferen aperten ausser in den nördlichen Regionen auch die mittleren Höhenlagen grossenteils bereits im Dezember wieder aus.

Neuen Schneezuwachs oder eine dauernde Schneedecke brachten erst die Schneefälle der niederschlagsreichen zweiten Monatshälfte im Februar. Mit der Wetterwende sank der Luftdruck von einem der höchsten auf den tiefsten der bisher beobachteten Stände. Vom 13. bis Ende Februar fiel auf der Alpennordseite grossenteils mehr Niederschlag als sonst im ganzen Monat. Vom 22. Februar an erhielt die Alpensüdseite innert vier Tagen z.T. mehr als das Doppelte der normalen Monatsmenge. Gesamthaft war der Februar zu warm, um 2-3 °C in den Niederungen, um 4-5 °C in den Bergen. Überaus mild bei beträchtlich schwankenden Temperaturen war ebenso der März, der nördlich der Alpen seit Beginn der Beobachtungen nur ausnahmsweise wärmer gewesen war, z.B. 1948 in den westlichen, 1957 in den östlichen Landesteilen. Wärmerekorde gab es in Basel mit sommerlicher Tagestemperatur am 30. März als frühestem Datum eines Sommertags nördlich der Alpen in diesem Jahrhundert und mit dem höchsten Monatsmittel für den März seit 1755.

Kälter als im März - obwohl nur mässig kälter als normal - war es meistenorts im April, der mit vorwiegend trübem, durch Tiefdrucklagen bestimmtem Wetter allen Landesteilen sehr viel Niederschlag brachte, der Alpennordseite bis 200 %, der Alpensüdseite und dem Südwallis bis 400 % der normalen Menge. Eine Südstaulage führte den südlichen Vispertälern am 13./14. April innert 36 Stunden 130 bis 150 cm Neuschnee zu, ein Kaltlufteinbruch erzeugte am Monatsende Schneefall bis in die Niederungen. Im April erreichten die Schneehöhen und die Rücklagen auf den Gletschern gebietsweise stark übernormale Werte. Den Höchstwert des Haushaltsjahres erreichten sie im Mai nach einer niederschlagsreichen Kälteperiode um die Monatsmitte. Sonst war der Maimonat überall ausgesprochen warm und trocken, so dass die Schneedecke bis in mittlere Lagen rasch wegschmolz. In der ersten Junidekade herrschte im Gebirge nochmals winterliches Wetter mit zeitweiligem Schneefall bis in die Alpentäler.

## **Sommer 1989**

Den Kälteschüben von Mitte Mai und anfangs Juni folgten im Laufe des Sommers in unregelmässigen Abständen weitere Kaltlufteinbrüche, zum Teil und vor allem auf der Alpennordseite begleitet von Schneefall bis an die Waldgrenze. Indessen war es auch im Sommer mehrheitlich warm und gebietsweise sehr trocken, besonders in der Westschweiz mit häufigen Hochdrucklagen im Juni und Juli.

Die Ostschweiz jedoch, oft im Randbereich feuchter Luftmassen gelegen, erhielt von Juni bis September normale bis grosse Niederschlagsmengen. Im Alpengebiet, wo die Monatsmittel der Temperatur im Juni um den Normalwert, im Juli bis September etwa 1 °C darüber lagen, war der Sommer gesamthaft merklich kühler als im Flachland. Auf dem Alpennordhang fiel wie in der Ostschweiz während des ganzen Sommers ziemlich häufig und zeitweise ausgiebig Niederschlag. Sonst war es in den Berggebieten vielfach wesentlich trockener als normal, auf der Alpensüdseite sehr trocken im September und extrem trocken auch noch im Oktober. Dieser Monat war gekennzeichnet durch sehr starke Gegensätze im Temperaturverlauf und in der Niederschlagsverteilung. Einem Temperatursturz zu Monatsbeginn folgten vom 6. Oktober an bis zum 15. Oktober auf der Nordseite ergiebige, auf der Südseite der Alpen abgeschwächte Niederschläge, zeitweise als Schnee bis in die Täler. Damit ging das Bilanzjahr im Massenhaushalt der Gletscher im allgemeinen ebenso rasch zu Ende wie das vorangehende. Allerdings wurden in der ausserordentlich warmen und trockenen zweiten Oktoberhälfte die neuen, in der ersten Monatshälfte gebildeten Rücklagen weitgehend aufgezehrt, bis eine Kaltfront am 29. Oktober erneut der Alpennordseite viel, der Südseite wenig Niederschlag mit Schnee bis 2200 m brachte.

Ausgleichend gab es im November in mehreren Schüben in den südlichen Landesteilen viel, in den nördlichen wenig Niederschlag. Wie im Oktober war es auch im Dezember zeitweise sehr warm und sonnig, so dass unterhalb der Waldgrenze nur in Schattenlagen eine dünne Schneedecke das Jahresende überdauerte.

Die Schnee- und Gletscherschmelze hat im Hochgebirge Mitte Mai etwa 2 Wochen vor dem Normaltermin eingesetzt. Nach einem Unterbruch anfangs Juni war sie bis Ende Juli in allen Regionen sehr stark wirksam, so dass auch in den schneereichen Gebieten das Übermass der Rücklagen auf normales Mass vermindert wurde. Im August und September fand in den niederschlagsreicheren nordalpinen Gebieten etwa durchschnittliche, sonst starke bis sehr starke Schmelzung statt. Entsprechend der unterschiedlichen Verteilung des Jahresniederschlags und bei durchwegs überdurchschnittlichen Sommertemperaturen ergab sich im südalpinen Bereich eine sehr grosse, im nordalpinen eine mässige bis geringe Verminderung der Gletschermasse.



# 1. CONDITIONS CLIMATIQUES

## 1.1 INTRODUCTION

*L'évolution des conditions climatiques durant les années du présent rapport est représentée dans les figures 1.1 et 1.2 par les valeurs quotidiennes de la température de l'air et des précipitations, mesurées à quelques stations choisies, ainsi que de l'altitude de l'isotherme de zéro degré, déterminée au-dessus de Payerne. On y trouve, pour chaque jour et pour la station du Jungfrauoch, les valeurs moyennes actuelle [SMA, 1987-89a] et pluriannuelle [Schüepp, 1972] de la température de l'air. Les précipitations [SMA, 1987-89b] sont indiquées par les sommes journalières mesurées à la station du Saentis. L'altitude de l'isotherme de zéro degré est représentée par les valeurs déterminées dans l'atmosphère libre, au-dessus de la station aérologique de Payerne, par les radiosondages de 13 heures. Ces valeurs sont obtenues par interpolation des profils de température, publiés dans les bulletins météorologiques quotidiens [SMA, 1987-89c]. Dans les cas d'inversions, avec isothermes de zéro degré à différentes altitudes, on a indiqué l'altitude de la plus élevée. En outre, on a indiqué, pour chaque jour également, la valeur moyenne pluriannuelle de l'altitude de zéro degré [Güller, 1978]. La courbe de ces moyennes est représentée avec toutes ses irrégularités particulières. En revanche, les courbes des moyennes pluriannuelles de la température sont lissées quelque peu.*

*Les séries ainsi représentées reflètent les fluctuations de température et la fréquence de pluviosité au cours des années du rapport et dans différentes régions climatiques de la Suisse. Cependant, le petit nombre de stations ne permet d'indiquer que par allusion la variabilité spatiale, qui est souvent très prononcée dans les situations météorologiques et dans les conditions climatiques régionales de notre pays fortement parcellé par ses montagnes et ses vallées. Des informations supplémentaires sont données, en résumé, dans le texte des chapitres suivants (chap. 1.2 et 1.3) ou se trouvent, en détail, dans les documents consultés [SMA, 1987-89d]. Dans les cas, qui demandent une description précise (verbale ou numérique) des conditions climatiques, auxquelles les glaciers ont été sujets dans une région particulière, il faut avoir recours aux sources citées et en tirer autant d'informations que possible sur les conditions locales ou régionales et surtout celles concernant le régime pluviométrique.*

*La variabilité régionale de quelques données climatiques importantes pour le bilan de masse glaciaire est indiquée dans les représentations graphiques assez sommaires et fortement simplifiantes des figures 1.3 et 1.4. La représentation cartographique des précipitations annuelles (fig. 1.3a et 1.4a) et des températures estivales (fig. 1.3b et 1.4b) est basé sur un bon nombre de stations d'observations, qui sont indiquées comme point de référence dans les croquis. On a classé la valeur actuelle en standardisant selon des règles statistiques [Kasser, 1983] son écart par rapport à la valeur normale. Comme valeur normale, on a choisi la valeur centrale de la série de mesures multiannuelles qui, en générale, comprend la période de 1901 à 1960. La valeur centrale est supérieure à la moitié et inférieure à l'autre moitié des valeurs particulières de cette série. Plus une valeur particulière s'écarte de la valeur centrale, plus elle est rare. L'écart et la fréquence des valeurs particulières sont signalés au moyen des 5 classes indiquées par les chiffres -2, -1, 0, +1, +2. Ainsi classées, les valeurs de l'année du rapport sont représentées par la figure. La classe '0' représente les valeurs normales qui, en moyenne, peuvent apparaître tous les deux ans, avec des écarts*

*faibles positifs ou négatifs en 4 ans. Les valeurs des classes '-1' et '+1' avec des écarts négatifs ou positifs forts apparaissent en moyenne entre quatre et douze ans, celles des classes '-2' et '+2' avec des écarts très forts à des intervalles de plus de douze ans. Dans les cas, où une telle valeur calculée se situe en dehors de ces cinq classes, il doit s'agir d'une valeur extrême qui apparaît à des intervalles de plus de 45 ans. Dans les figures, fortement généralisées, les valeurs extrêmes ne sont pas discernées parmi les autres valeurs des classes '-2' ou '+2'.*

*Les réserves exprimées dans les rapports précédents concernant la comparabilité des données climatiques avec les données du bilan de masse sont toujours valables, tant que les remarques concernant l'homogénéité des séries d'observations, particulièrement des séries affectées par l'automatisation des observations météorologiques [Schüepp, 1983].*

*Les tableaux 1.1 et 1.2 résument les sommes des moyennes journalières positives de la température de l'air. Les valeurs sont déterminées soit à partir des mesures faites à quelques stations de montagne suisses ou aux stations aérologiques de Payerne, Munich et Milan, soit calculées pour les sites des balises d'accumulation sur quelques névés suisses (chap. 5.5).*

*Les conditions d'enneigement sont décrites dans les rapports y relatifs de l'ENA à Weissfluhjoch-Davos [SLF, 1988 et 1989]. Dorénavant, les rapports particuliers "neige et avalanches" parus à la fin des chapitres 1.2 et 1.3 des annuaires précédants, sont omis.*

*Les informations sur les débits des bassins versants englacés [LHG, 1987-89] sont réduites aux remarques faites dans le texte (chap. 1.2 et 1.3), aux données reportées dans le tableau 5.2 et représentées dans la figure 5.1 (chap. 5).*

*La description des conditions climatiques (chap. 1.2 et 1.3) est reproduite (à quelques modifications près) telle qu'elle a été publiée [Aellen, 1989a et 1988].*

## 1.2 CONDITIONS CLIMATIQUES 1987/88

*Les situations météorologiques durant l'exercice considéré présentent de nombreuses similitudes avec celles des années précédentes, notamment des températures inhabituellement élevées et un déficit nival pendant presque tout l'hiver, des séquences froides et souvent très pluvieuses à la fin de l'hiver et au début du printemps, ainsi que, pendant le gros de l'été, de longues périodes chaudes et sèches, rarement interrompues par des invasions d'air froid. Le déroulement des conditions météorologiques de cet exercice est représenté à la figure 1.1. L'écart positif de ces valeurs, par rapport aux moyennes pluriannuelles indiquées, prédomine nettement et caractérise le temps de la période examinée.*

*Dans le domaine alpin, le climat de l'année observée - décrit de manière simplifiée pour des raisons glaciologiques - se caractérise par une pluviométrie normale dans les grandes lignes: faible dans les régions soumises au foehn, et par conséquent forte à très élevée dans celles où se manifestent les situations de barrage du sud et de l'ouest. A cela s'ajoutent, presque partout, des températures moyennes estivales très nettement supérieures à la norme.*

### Hiver 1987/88

*Une situation de vent d'ouest, précédée d'une tempête de foehn du sud et associée à une invasion d'air froid, a interrompu vers le 10 octobre la période d'ablation de l'été 1987 et conclu de manière assez abrupte l'exercice annuel 1986/87 du bilan de masse des glaciers. Des précipitations abondantes et étendues, souvent sous forme de neige jusque dans les vallées alpines, ont constitué par endroits, pendant ces quelques jours, des réserves assez importantes pour le nouveau bilan. Un temps d'ouest doux et pluvieux pendant la seconde moitié d'octobre, devenant ensoleillé et sec pendant les dix premiers jours de novembre, a rapidement ramené ces réserves à un niveau égal ou inférieur à la norme. Pendant les quatre mois suivants, elles sont restées plus souvent inférieures que supérieures à la norme, en raison de nombreuses périodes trop chaudes et souvent trop sèches. Cette première couche de neige a fondu presque complètement jusqu'à des altitudes élevées dans les régions libres de glace.*

*Pendant la dernière décade de novembre, caractérisée par un temps changeant et parfois tempétueux, le manteau neigeux a atteint progressivement la plaine, et les régions de montagne ont été enneigées, généralement de façon durable, jusqu'au fond des vallées. Mais pendant la seconde moitié de décembre, la neige a de nouveau disparu jusqu'à une altitude moyenne sur le versant nord des Alpes, ainsi que sur un grand nombre de pentes ensoleillées des autres régions. Ce n'est qu'après le changement de millésime que la neige s'est installée définitivement dans ces divers secteurs, soit pendant la première ou la dernière semaine de janvier. Très sec en général, décembre a été exceptionnellement chaud, de même que janvier. Les écarts thermiques à la norme se sont élevés, en montagne, jusqu'à 4,5 °C vers le haut en décembre, et jusqu'à 6 °C dans les régions basses du nord des Alpes en janvier. Des records ont été battus au Säntis (décembre le plus chaud depuis 105 ans) et à Bâle (janvier le plus chaud depuis 150 ans).*

*Pendant la dernière semaine de février et la première quinzaine de mars, des vents polaires de nord-ouest à nord ont provoqué des conditions très hivernales au nord des Alpes (parfois jusqu'à 6 °C au-dessous de la norme) et de la neige jusqu'en plaine. Provoquées par un afflux d'air maritime doux associé à des vents tempétueux d'ouest à nord ouest, les précipitations fréquentes et abondantes de la seconde moitié de mars ont apporté au massif alpin, à l'exception de son versant sud, un accroissement très important du manteau neigeux et causé de nombreuses avalanches dévastatrices, à des endroits parfois inhabituels (destruction de la cabane de Panossière, par exemple).*

*En raison de la distribution des précipitations, les épaisseurs maximales du manteau neigeux hivernal ont été mesurées au début ou au milieu de mars sur les régions méridionales et à basse altitude dans les Alpes occidentales, à fin mars-début d'avril partout ailleurs.*

*Très sec en général, avril s'est signalé par des températures anormalement élevées, de même que mai, très pluvieux dans l'ouest et le sud du pays. Ce temps a provoqué une fonte rapide des neiges à basse et moyenne altitude et, à mi-mai, seules les stations très élevées étaient encore enneigées. Au début de juin, celles-ci, de même que les régions englacées des Alpes, ont encore reçu une notable quantité de neige. Vers le milieu de ce mois, les stations de Trübsee (1800 m) et du Güttsch (2287 m) étaient libres de neige, tandis que celle-ci se maintenait au Weissfluhjoch (2540 m) jusqu'au 11 juillet, et au Säntis (2500 m) jusqu'au 13 août.*

### **Eté 1988**

*Après un début froid et humide, juin s'est révélé sec et chaud. C'est le seul mois d'été de cet exercice qui présente une moyenne thermique légèrement inférieure à la norme. Les trois mois suivants, malgré des invasions d'air froid mi-juillet, fin août, début et mi-septembre, sont nettement plus chauds qu'à l'accoutumée. Du 18 juillet au 20 août, l'isotherme de zéro degré s'est constamment situé vers 4000 m d'altitude, et souvent bien au dessus. L'ablation des glaciers a été alors extraordinairement active; elle s'est ensuite poursuivie dans des proportions normales de mi-août à début octobre. De juin à septembre les lames d'eau mensuelles s'écartent peu de la norme dans la plupart des régions. Une invasion d'air polaire associée à un flux d'ouest fort à tempétueux a provoqué le 8 octobre une baisse marquée de la température et des chutes de neige jusque dans les vallées alpines, C'est ainsi que se terminent brusquement la période d'ablation 1988 et, par conséquent, l'exercice 1987/88 sur l'ensemble des régions englacées des Alpes, Les précipitations généreuses de la première moitié d'octobre ont fourni, au versant nord des Alpes, des lames d'eau équivalant aux sommes mensuelles normales et ont constitué des réserves parfois importantes pour le bilan suivant. Le temps chaud et sec de la seconde quinzaine d'octobre et de la première moitié de novembre a réactivé la fonte de la neige, qui, comme les années précédentes, a disparu en grande partie des terrains libres de glace. Ce n'est qu'à mi-novembre que le manteau neigeux hivernal s'est installé durablement sur ces régions.*

### 1.3 CONDITIONS CLIMATIQUES 1988/89

*Les situations météorologiques de 1988/89 présentent encore de nombreuses similitudes avec celles des six années précédentes. Pour l'essentiel, il s'agit de périodes douces et sèches au début et au milieu de l'hiver, de séquences pluvieuses et fraîches à la fin de cette saison et au printemps, de temps très chaud et régionalement sec en été, et d'un enneigement automnal tardif, malgré des chutes de neige précoces. La persistance sur plusieurs années de ces conditions climatiques défavorables a déclenché une phase de décrue accélérée, mettant ainsi un terme à l'avance générale des glaciers observée pendant les années quatre-vingt.*

*Durant l'exercice considéré, les périodes chaudes, qui ont souvent duré plusieurs semaines, se sont produites sur l'ensemble du pays et en toute saison, mais particulièrement en plein hiver, avec une prédominance sur les séquences froides. Quant au graphique des précipitations (fig. 1.2), il correspond bien, à l'exception d'une période sèche de plusieurs semaines en janvier, aux conditions habituelles des contrées pluvieuses du versant nord des Alpes.*

*Du dessin très simplifié des zones climatiques, il ressort que les lames d'eau accumulées d'octobre 1988 à septembre 1989 (fig. 1.4a) sont normales sur la majorité des régions, faibles à très faibles sur le Jura et sur les vallées de Suisse orientale soumises au foehn, et fortes à très fortes sur quelques contrées du versant nord des Alpes. La température moyenne de mai à septembre 1989 (fig. 1.4b) est plus élevée que la norme sur l'ensemble du pays, ce qui nous donne un été tempéré à extrêmement chaud selon les endroits.*

#### **Hiver 1988/1989**

*L'invasion d'air froid du 5 octobre, suivie, trois jours plus tard, de chutes de neige jusque dans les vallées des Alpes, a mis un terme abrupt et général à la période d'ablation de 1988, ainsi qu'au bilan annuel 1987/88. Les précipitations généreuses de la première moitié d'octobre ont fourni, au versant nord des Alpes, des lames d'eau équivalant aux sommes mensuelles normales et ont apporté aux régions englacées les premières réserves du bilan 1988/89. Le temps chaud et sec de la seconde quinzaine d'octobre et de la première moitié de novembre a réactivé la fonte de la neige sur les glaciers, réduisant les surplus à des valeurs habituelles. Comme les années précédentes, cette première neige a presque complètement disparu sur les terrains libres de glace. En octobre, toutes les régions du pays ont reçu des lames d'eau supérieures à la norme, surtout le versant sud des Alpes (jusqu'à 200 % de celle-ci). En revanche, novembre s'est montré très sec par endroits et seuls la Suisse centrale et le pays d'Appenzell ont été arrosés normalement. Provoquée par une invasion d'air froid suivie de forts gels, la première couche de neige à basse altitude s'est formée dès le 21 novembre. En décembre, un temps très changeant, d'abord souvent trop froid, puis très doux pendant les dix derniers jours, a créé un excédent thermique sur toute la Suisse, atteignant jusqu'à 3 °C en plaine et 1 °C en altitude, ainsi qu'un accroissement sensible du manteau neigeux en haute montagne. Caractérisée par de grandes variations régionales, la pluviosité mensuelle s'est élevée entre 150 et 250 % de la moyenne pluriannuelle sur le massif alpin et en Suisse orientale, et 50 % seulement au Tessin, en Engadine et sur l'ouest du Plateau.*

*Les conditions météorologiques de janvier ont été dominées par un anticyclone puissant et très stable, situé sur l'Europe centrale de fin décembre à mi-février. Au-dessus des fréquentes mers de brouillard, le temps était exceptionnellement doux, sec et ensoleillé. Au-dessus de 1600 m, la moyenne thermique de janvier s'est élevée jusqu'à 6 °C au-dessus de la norme. Au Säntis, ce fut le mois de janvier le plus chaud depuis le début des mesures en 1882. La sécheresse au sud des Alpes, pourtant assez fréquente à ce moment de l'année, est exceptionnelle par sa durée, puisque l'on n'a récolté aucune lame d'eau mesurable entre le 6 décembre et le 21 février, soit pendant 77 jours, ce qui ne s'était jamais vu depuis le début des relevés pluviométriques. Inhabituel également, le manque de précipitations sur l'est de la Suisse où, par exemple, on n'a mesuré que 7 mm d'eau à Zurich en janvier, ce qui en fait le premier mois de l'année le plus sec depuis 1864. Pendant cette période, les réserves de neige ont diminué sur les glaciers jusqu'à des valeurs inférieures à la norme, surtout en raison du manque d'apport neigeux, mais aussi par fusion et sublimation. Il en fut de même pour le manteau neigeux recouvrant les régions libres de glace en altitude élevée, où des pénitents de neige se sont développés de manière inusitée. Au cours de décembre déjà, la couche de neige avait disparu entièrement à basse altitude et partiellement en moyenne montagne, à l'exception des régions septentrionales.*

*Il a fallu attendre les chutes de neige de la seconde moitié de février, très pluvieuse, pour reconstituer ou épaissir ce manteau neigeux très lacunaire. Ce changement de temps a apporté une baisse considérable de la pression atmosphérique qui a passé, en quelques jours, de valeurs extrêmement élevées à des minima jamais observés jusqu'à présent. Presque partout au nord des Alpes, il est tombé, entre le 13 et le 28 février, plus de précipitations que pendant un mois entier normal; au sud des Alpes, une lame d'eau supérieure au double de la norme mensuelle a été récoltée à partir du 22 en quatre jours seulement. Février, dans son ensemble, a été aussi trop chaud, de 2 à 3 °C en plaine et de 4 à 5 °C en montagne. Malgré des sautes importantes de température, mars présente aussi un excédent thermique prononcé, surtout au nord des Alpes; cet écart n'a été que très rarement dépassé depuis le début des observations: en 1948, par exemple, pour l'ouest du pays, ou en 1957 pour l'est de la Suisse. Des records de chaleur ont été relevés à Bâle: les 25 °C mesurés le 30 mars en font le jour d'été le plus précoce de ce siècle au nord des Alpes; c'est également le mois de mars le plus chaud en cette ville depuis 1755.*

*Plus froid que mars presque partout, bien que sa moyenne thermique soit située un peu au-dessous de la valeur habituelle, avril a apporté d'abondantes précipitations au pays tout entier, en raison de nombreuses dépressions atmosphériques. Les lames d'eau ont atteint jusqu'à deux fois la moyenne mensuelle au nord des Alpes et jusqu'à quatre fois au sud et sur le Valais méridional. Grâce à une situation de barrage au sud, le haut des vallées de Saas et de Saint-Nicolas a reçu, les 13 et 14 avril, 130 à 150 cm de neige fraîche en 36 heures. A la fin du mois, un flux d'air polaire a provoqué des chutes de neige jusqu'en plaine. C'est pourquoi les épaisseurs du manteau neigeux et les réserves sur les glaciers se sont élevées à des valeurs très supérieures à la norme à la fin d'avril. Mais leur maximum n'a été atteint qu'au milieu de mai, après une période froide et très pluvieuse. La seconde quinzaine de ce mois s'est signalée par un temps très chaud et sec, qui a rapidement fait disparaître la couverture nivale jusqu'à moyenne altitude. Un nouvel épisode de temps hivernal s'est encore produit en montagne les dix premiers jours de juin, pendant lesquels il a neigé, par intermittence, jusque dans les vallées alpines.*

*Été 1989*

*Les invasions d'air froid de mi-mai et du début de juin ont été suivies d'autres coulées froides à intervalles irréguliers. Certaines d'entre elles ont apporté de la neige jusqu'à la limite supérieure de la forêt, surtout au nord des Alpes. Toutefois, l'été s'est révélé en général chaud, très sec par endroits, surtout en Suisse occidentale, où les situations anticycloniques ont dominé les mois de juin et juillet.*

*L'est de la Suisse, en revanche, s'est souvent trouvé à la limite de masses d'air humide et il a bénéficié de pluies normales à abondantes de juin à septembre. Avec des températures voisines de la moyenne pluri-annuelle en juin et supérieures à celle-ci d'un degré environ de juillet à septembre, le domaine alpin a subi un été nettement plus frais que le Plateau. De même que la Suisse orientale, le versant nord des Alpes a été fréquemment et abondamment arrosé durant tout l'été. Ailleurs en montagne, le temps s'est révélé nettement plus sec que d'habitude, surtout au sud des Alpes, où la sécheresse s'est fait sentir en septembre et surtout en octobre. Ce dernier mois s'est signalé par de forts contrastes, tant dans la courbe de la température que dans la distribution des précipitations. Après une baisse marquée du thermomètre au début du mois, il a plu généreusement entre le 6 et le 15 octobre au nord des Alpes, et un peu moins au sud de cette chaîne de montagnes. Il a même neigé temporairement jusque dans les vallées. Cet épisode pluvieux a mis un terme au bilan de masse des glaciers pour cet exercice, d'une manière aussi brusque que l'année précédente. Le temps exceptionnellement chaud et sec de la seconde quinzaine d'octobre a presque totalement épuisé les réserves ainsi constituées pendant la première moitié du mois. Il s'est terminé le 29 octobre par le passage d'un front froid qui a apporté beaucoup de précipitations au nord des Alpes et nettement moins au sud, avec de la neige jusque vers 2200 m.*

*En revanche, c'est le sud des Alpes qui, en novembre, a reçu davantage de précipitations, lors du passage de plusieurs perturbations. En décembre, des épisodes secs et chauds, analogues à ceux d'octobre, ont fait disparaître une bonne partie de la neige. Au-dessous de la limite de la forêt, il n'en subsistait, à la fin de l'année, qu'une mince couche sur les versants exposés à l'ombre.*

*En haute montagne, la fonte de la neige et de la glace a débuté au milieu de mai, soit deux semaines environ avant la date usuelle. Après une interruption au début de juin, elle s'est révélée très active en toutes régions jusqu'à fin juillet. A ce moment, les réserves très abondantes des zones fortement enneigées étaient revenues à leur état habituel. En août et septembre, l'ablation s'est poursuivie dans des proportions normales sur les contrées septentrionales très pluvieuses des Alpes, et de manière prononcée sur le reste du massif alpin. En raison de la répartition très diverse de la pluviosité annuelle et des températures estivales, en général supérieures à la norme, la diminution de la masse glaciaire s'est donc maintenue à un niveau très élevé au sud des Alpes, et modéré à faible au nord.*

Tabelle 1.1: Lufttemperatur 1988 - Gradtagssummen Mai-Oktober

a) Absolute Werte <sup>1)</sup>

Station	Höhe [m ü.M.]	Gradtagssumme [°C]						
		Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Mai-Sept.
<b>Meteorologische Stationen:</b>								
Gütsch	2287	88	140	260	269	171	114	929
Säntis	2490	77	90	186	211	110	108	674
Weissfluhjoch	2690	37	55	186	187	106	78	571
Jungfrauoch	3580	2	0	43	53	8	0	106
<b>Aerologische Stationen: <sup>2)</sup></b>								
Payeme (700 mb)	3100	12	14	100	126	73	35	325
München (700 mb)	3100	22	8	89	96	30	37	245
Mailand (700 mb)	3100	10	28	168	158	81	35	445
<b>Firngebiete: <sup>3)</sup></b>								
Clariden <sup>3a)</sup>	2700	30	70	177	188	104	52	570
Clariden <sup>3a)</sup>	2900	14	39	140	154	74	33	420
Silvretta <sup>3b)</sup>	2750	31	45	175	177	97	70	524
Jungfraufrim <sup>3c)</sup>	3350	3	2	72	87	26	6	190

b) Relative Werte <sup>4)</sup>

Station	Höhe [m ü.M.]	Gradtagssumme [%]						
		Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Mai-Sept.
<b>Meteorologische Stationen:</b>								
Gütsch	2287	155	97	111	118	101	120	111
Säntis	2490	180	90	112	129	89	145	112
Weissfluhjoch	2690	125	61	115	116	90	133	102
Jungfrauoch	3580	214		151	212	69		143
<b>Aerologische Stationen:</b>								
Payeme (700 mb)	3100	152	39	120	158	130	250	122
München (700 mb)	3100	237	27	133	137	63	308	109
Mailand (700 mb)	3100	97	55	147	144	114	194	124
<b>Firngebiete:</b>								
Clariden	2700	153	80	114	124	100	119	111
Clariden	2900	140	70	113	131	97	117	111
Silvretta	2750	125	56	118	119	91	136	103
Jungfraufrim	3350	143	11	142	194	96	62	133

- 1 Temperaturmessungen der SMA. Sommersummen publiziert in Aellen [1989a]. Monatssummen berechnet aufgrund der Monatstabellen, die für Säntis ausführlich, für die andern Stationen auszugswise publiziert sind [SMA, 1988a].
- 2 Temperaturmessungen in der freien Atmosphäre (Radiosondierungen der Landeswetterdienste). Durch G. Gensler, SMA, berechnete Werte, gemittelt aus den Ergebnissen im Niveau 700 Millibar (etwa 3100 m ü.M.) der Sondenaufstiege um 0 und um 12 Uhr Weltzeit.
- 3 Schätzwerte, für Firnpegel auf Gletschern berechnet aus den Messwerten der Station: a) Gütsch, b) Weissfluhjoch, c) Jungfrauoch.
- 4 Prozentwerte, bezogen auf die Durchschnittswerte der Periode 1959-1989 (Durchschnittswert = 100 %).

Tableau 1.2: Température de l'air 1989 - Sommes des degrés-jour mai-octobre

a) Valeurs absolues <sup>1)</sup>

Station	Altitude [m s.m.]	Somme des degrés-jour [°C]						
		Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Mai-Sept.
<b>Stations météorologiques:</b>								
Gütsch	2287	96	136	258	251	149	128	889
Saentis	2490	67	77	187	206	117	93	654
Weissfluhjoch	2690	37	65	166	179	97	73	545
Jungfrauoch	3580	0	0	28	31	3	6	62
<b>Stations aérologiques: <sup>2)</sup></b>								
Payerne (700 mb)	3100	11	33	95	100	38	48	277
Munich (700 mb)	3100	3	7	59	73	45	32	187
Milan (700 mb)	3100	3	25	116	130	42	61	316
<b>Névés: <sup>3)</sup></b>								
Clariden <sup>3a)</sup>	2700	35	75	175	177	82	68	544
Clariden <sup>3a)</sup>	2900	14	49	136	143	56	44	397
Silvretta <sup>3b)</sup>	2750	29	57	154	169	89	66	499
Jungfraufrn <sup>3c)</sup>	3350	1	6	53	61	14	16	134

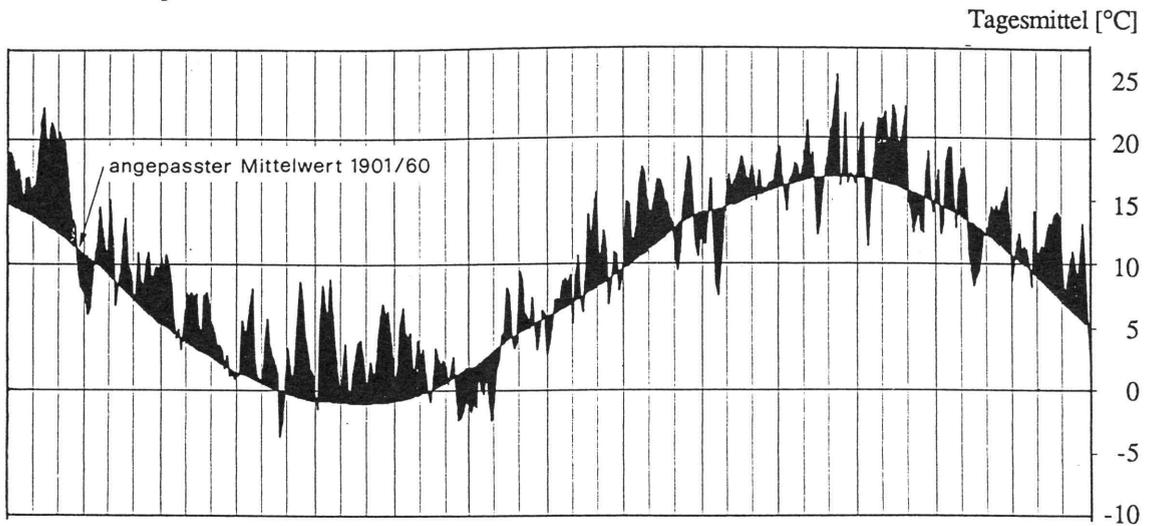
b) Valeurs relatives <sup>4)</sup>

Station	Altitude [m s.m.]	Somme des degrés-jour [%]						
		Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Mai-Sept.
<b>Stations météorologiques:</b>								
Gütsch	2287	168	94	110	110	88	135	107
Saentis	2490	157	77	113	125	95	125	109
Weissfluhjoch	2690	122	73	103	111	83	124	98
Jungfrauoch	3580			98	124	24	162	84
<b>Stations aérologiques:</b>								
Payerne (700 mb)	3100	139	92	114	125	68	342	104
Munich (700 mb)	3100	32	23	88	104	94	266	83
Milan (700 mb)	3100	29	49	101	118	59	338	88
<b>Névés:</b>								
Clariden	2700	175	86	112	117	79	155	105
Clariden	2900	141	87	109	122	74	158	105
Silvretta	2750	119	71	104	114	84	129	98
Jungfraufrn	3350		34	104	136	50	174	94

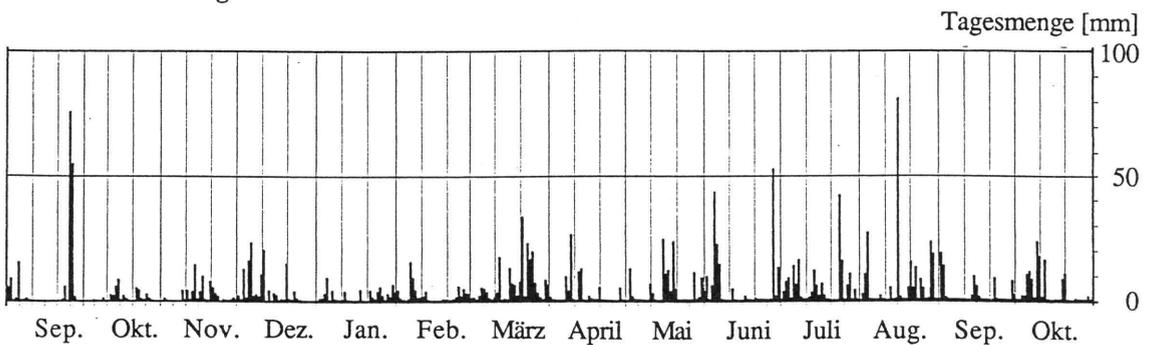
- 1 Observations de l'ISM. Sommes estivales publiées dans Aellen [1990]. Sommes mensuelles déterminées à partir des tableaux mensuels qui sont publiés in extenso pour Saentis, en extrait pour les autres stations [SMA, 1989a].
- 2 Observations dans l'atmosphère libre (radiosondages des services météorologiques nationaux). Valeurs calculées par G. Gensler, ISM, à partir des résultats obtenus au niveau de 700 millibars (environ 3100 m s.m.), lors des sondages de 0 et de 12 heures, temps universel.
- 3 Valeurs estimées pour balises d'accumulation, calculées à partir des températures mesurées aux stations de: a) Gütsch, b) Weissfluhjoch, c) Jungfrauoch.
- 4 Pourcentages par rapport aux valeurs moyennes de la période 1959-1989 (valeur moyenne = 100 %).

Abbildung 1.1: Witterung 1987/88

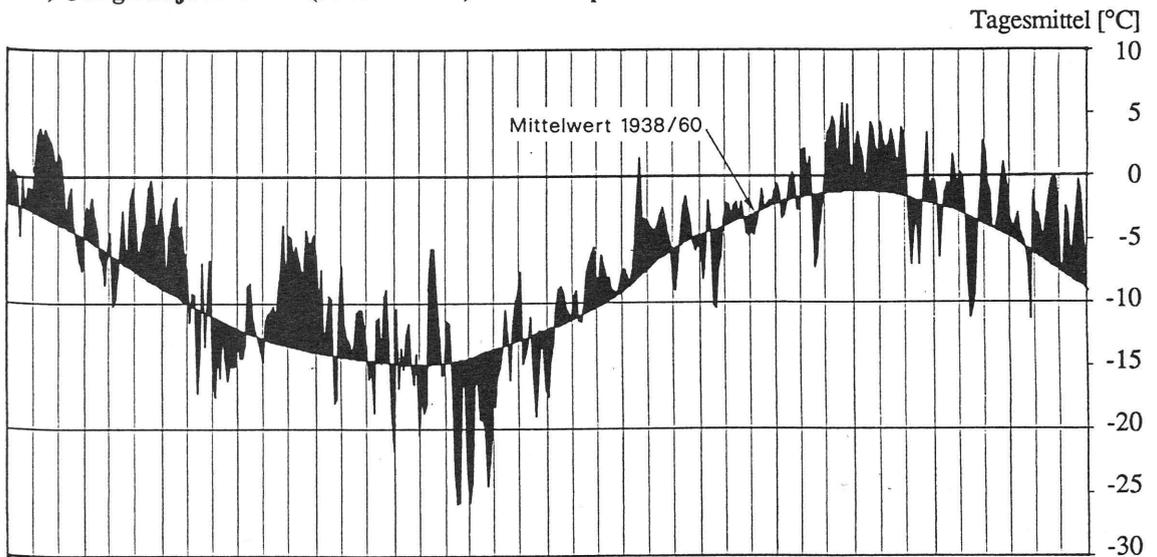
a) Zürich SMA (556 m ü.M.):  
Lufttemperatur



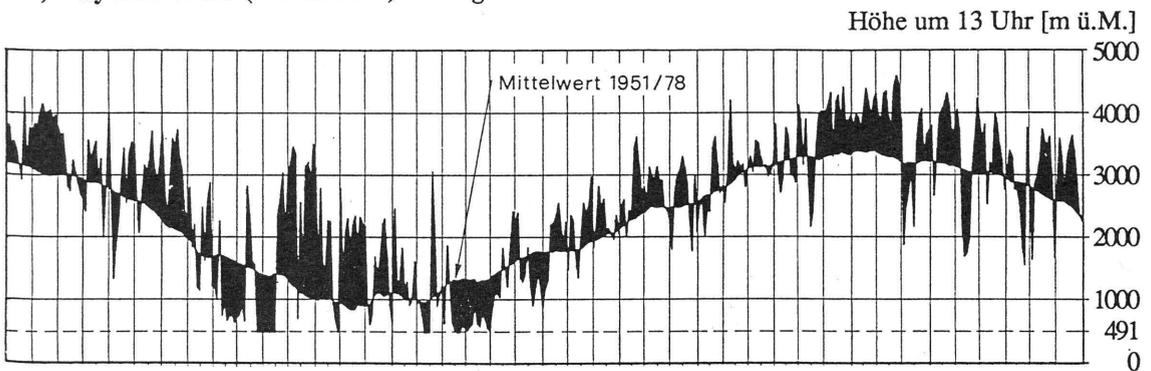
Niederschlag



b) Jungfraujoch SMA (3580 m ü.M.): Lufttemperatur



c) Payerne SMA (490 m ü.M.): Nullgrad-Isotherme



d) Säntis SMA (2490 m ü.M.): Niederschlag

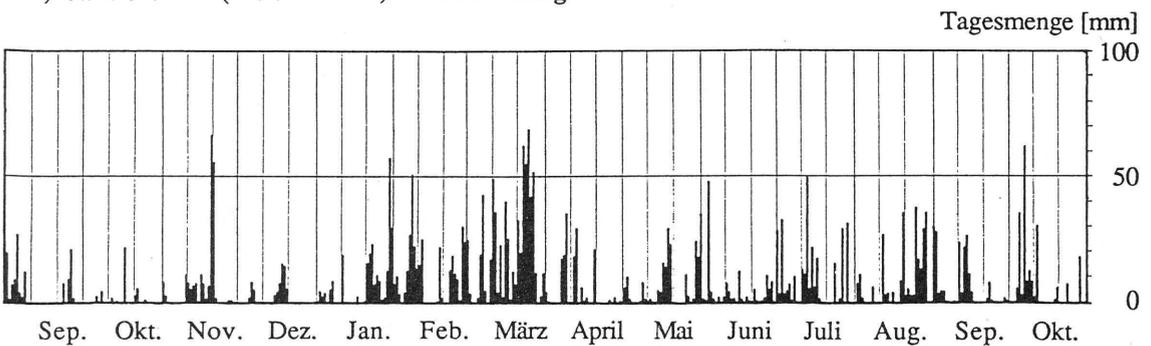
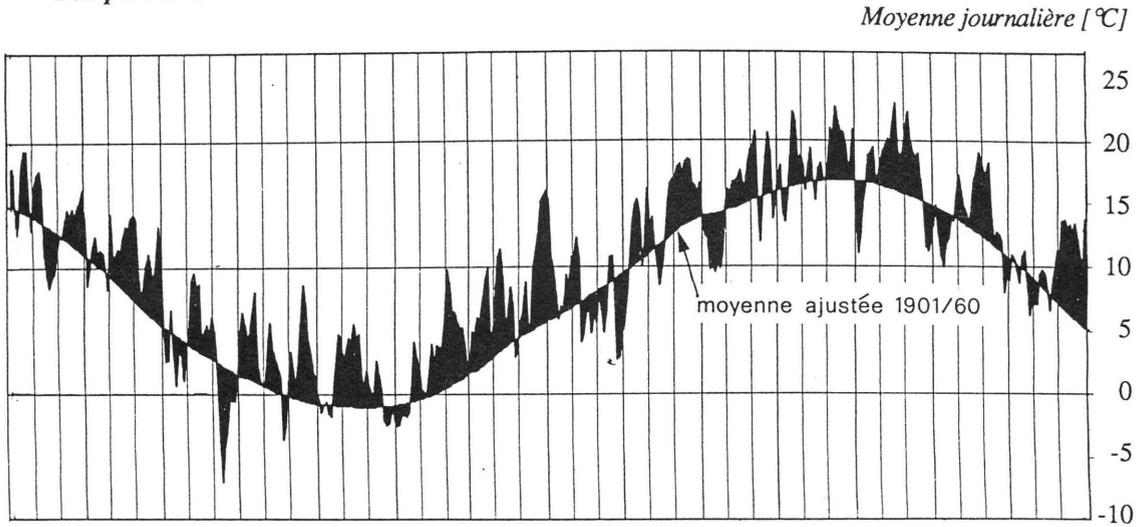
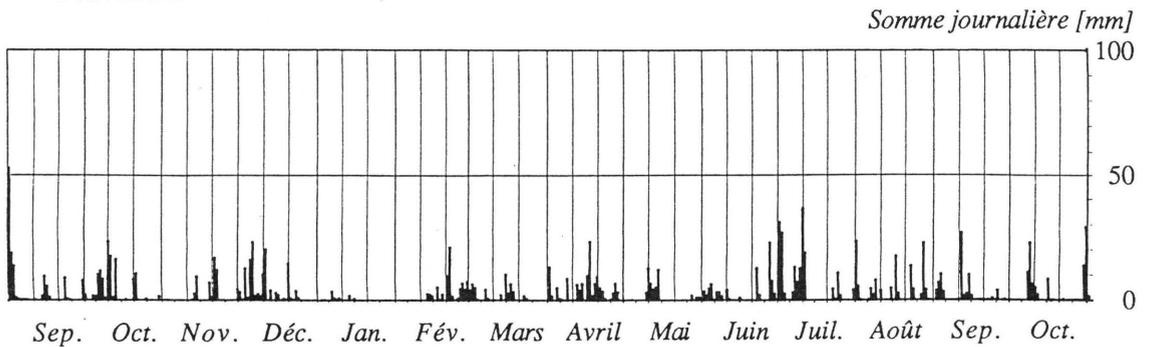


Figure 1.2: Conditions météorologiques 1988/89

a) Zurich ISM (556 m s.m.):  
Température de l'air

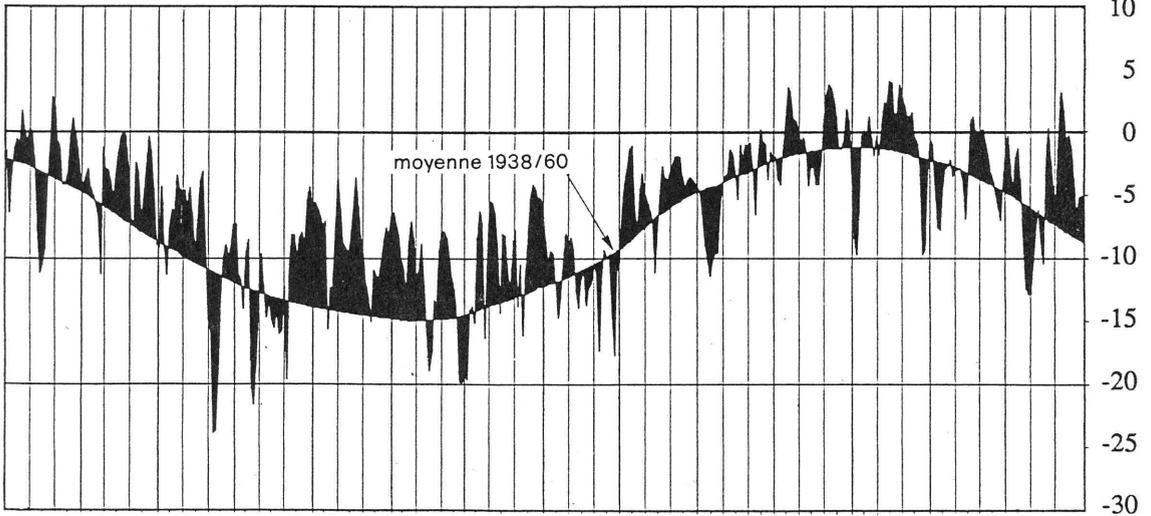


Pluviosité



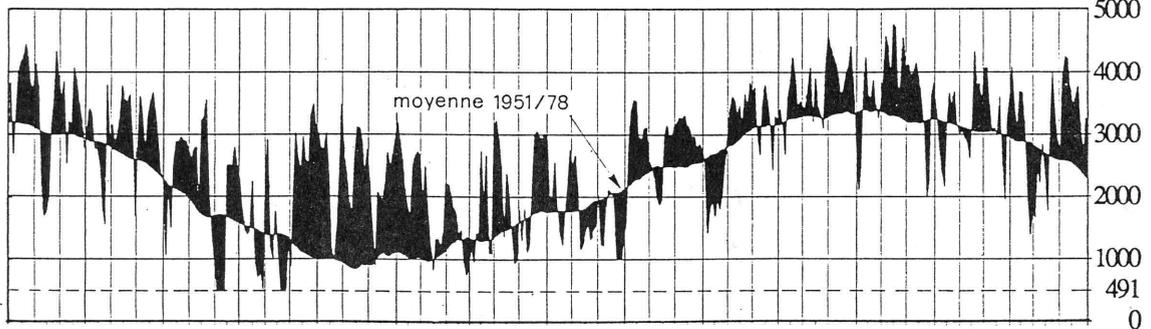
b) Jungfraujoch ISM (3580 m s.m.): Température de l'air

Moyenne journalière [°C]



c) Payerne ISM (490 m s.m.): Isotherme zéro degré

Altitude à 13 heures [m s.m.]



d) Saentis ISM (2490 m s.m.): Pluviosité

Somme journalière [mm]

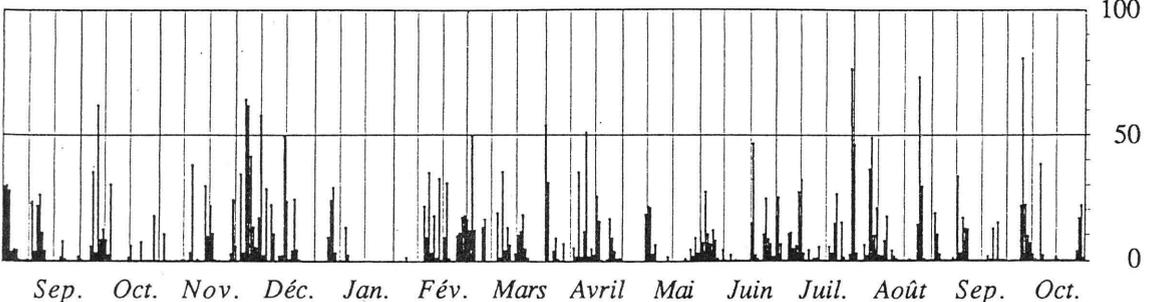
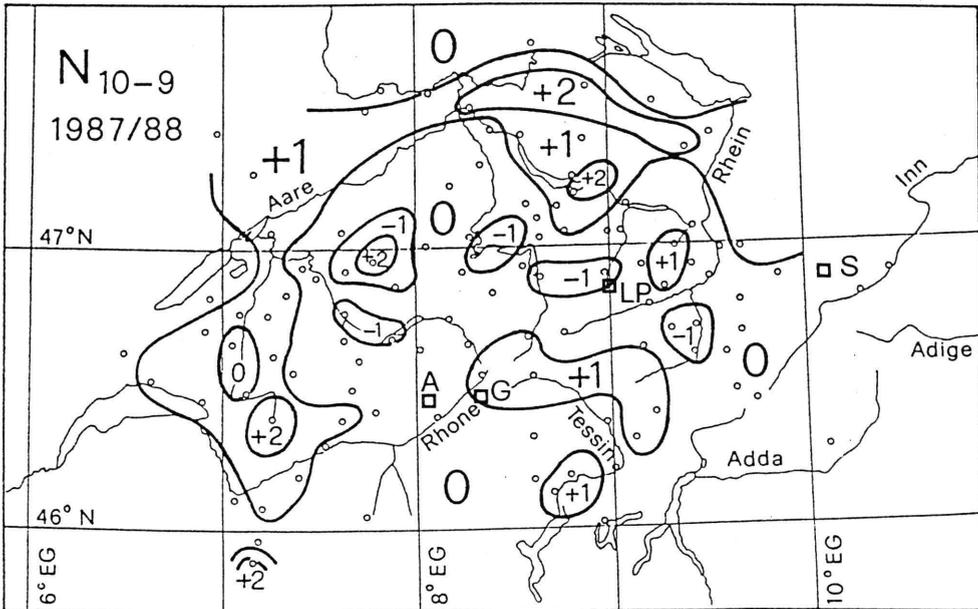


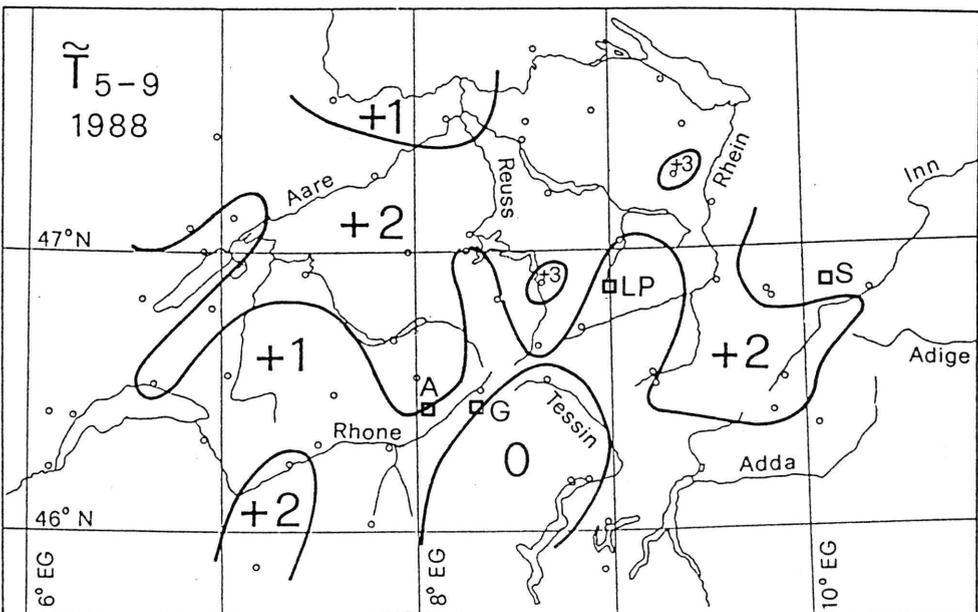
Abbildung 1.3: Klima 1987/88 - Abweichungen vom Normalwert 1901-1960

a) Jahresniederschlag 1987/88: Niederschlagsmenge 1.10.1987 - 30.9.1988



Klassierung der Niederschlagsmenge 1987/88: +2 = sehr gross, +1 = gross, 0 = normal, -1 = klein, -2 = sehr klein.

b) Sommertemperatur 1988: Durchschnittliche Lufttemperatur 1.5. - 30.9.1988



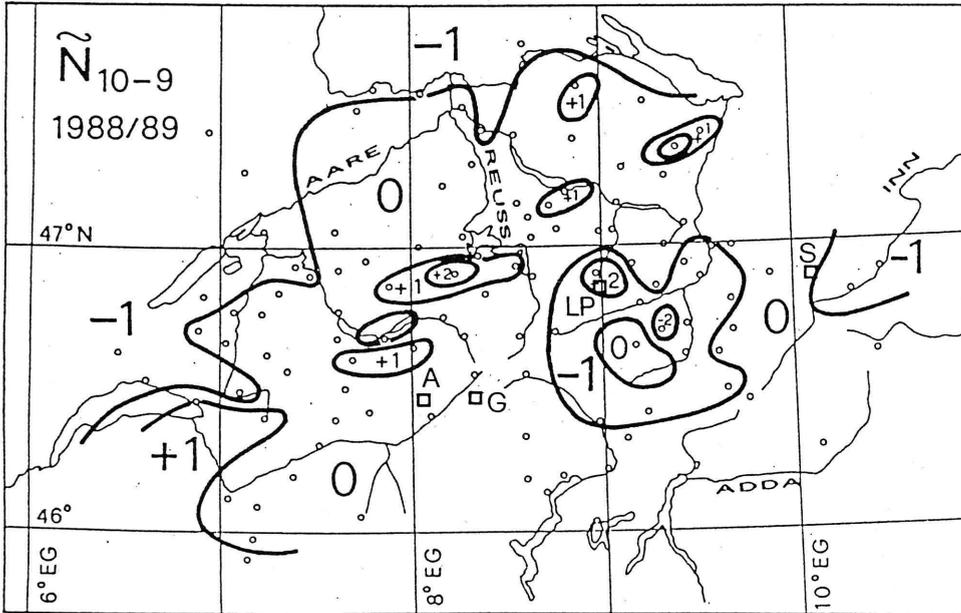
Klassierung der Sommertemperatur 1988: +2 = sehr warm, +1 = warm, 0 = normal, -1 = kalt, -2 = sehr kalt.

○ Niederschlagsmessstationen (Abb. 1.3a) oder Klimastationen (Abb. 1.3b) der SMA.

□ Haushaltsgletscher (vgl. Tab. 5.1): A = Alcutsch, G = Gries, LP = Limmern/Plattalva, S = Silvretta.

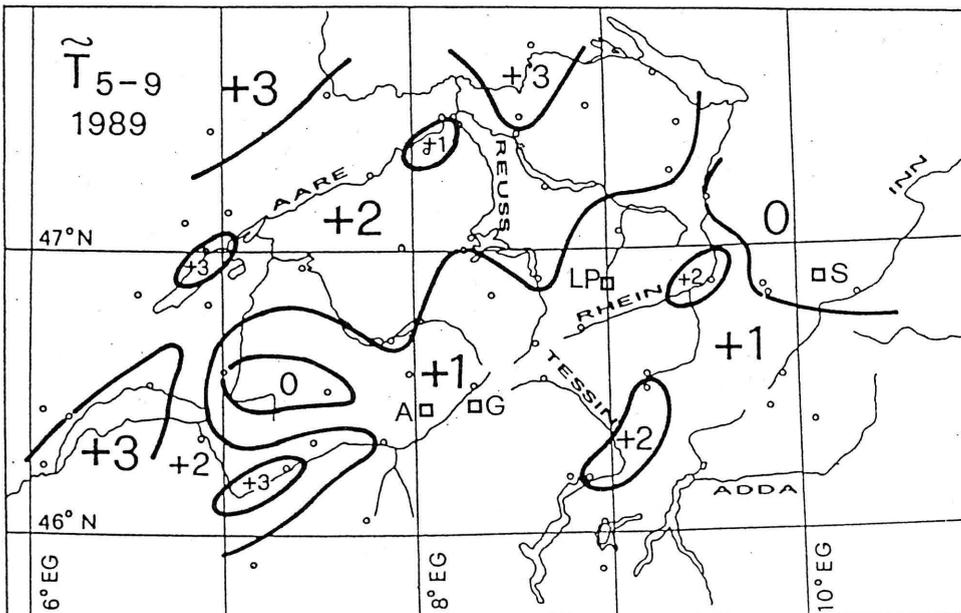
Figure 1.4: Conditions climatiques 1988/89 - Ecart par rapport à la norme 1901-1960

a) Pluviosité 1988/89: Somme des précipitations 1.10.1988 - 30.9.1989



Classification de la pluviosité 1988/89: +2 = très forte, +1 = forte, 0 = normale, -1 = faible, -2 = très faible.

b) Température estivale 1989: Température moyenne de l'air 1.5. - 30.9.1989



Classification de la température estivale 1989: +2 = très chaude, +1 = chaude, 0 = normale, -1 = froide, -2 = très froide.

○ Stations pluviométriques (fig. 1.4a) ou climatologiques (fig. 1.4b) de l'ISM.

□ Glaciers de bilan (cf. tabl. 5.1): A = Aletsch, G = Gries, LP = Limmern/Plattalva, S = Silvretta.



## 2. CHRONIK

### 2.1 TÄTIGKEIT UND EREIGNISSE 1987/88

#### Zungenbeobachtungen

Im Herbst 1988 sind 108 Gletscher erfasst worden, die mit einer Ausnahme ein statistisch verwertbares Ergebnis geliefert haben.

Die nachstehende Zusammenstellung gibt an, welche Institutionen und privaten Beobachter im Berichtsjahr wieviele Gletscherzungen beobachtet haben. Die Ergebnisse sind in Kapitel 3 zu finden.

<b>Kantonale Forstdienste</b>	<b>67</b>	<b>Private Mitarbeiter</b>	<b>17</b>
Bern	11	Y. Biner	1
Glarus	1	J.-L. Blanc	3
Graubünden	16	H. Boss Jun.	1
Obwalden	2	H. Boss Sen.	2
St. Gallen	2	A. Godenzi	2
Tessin	6	E. Hodel	1
Uri	6	P. Mercier	4
Waadt	4	W. Wild	2
Wallis	19	R. Zimmermann	1
<b>Kraftwerke</b>	<b>6</b>	<b>ETH Zürich: VAW-Glaziologie</b>	<b>21</b>
Ägina	1	im Gelände	9
Mattmark	1	Luftbilder	12
Mauvoisin	2		
Oberhasli	2		

#### Vermessungsflüge

Wie in den Vorjahren sind uns bei 5 Gletschern die Ergebnisse der luftphotogrammetrischen Aufnahmen zur Verfügung gestellt worden. Die Auswertungen sind bei den **Aaregletschern** für die Kraftwerke Oberhasli durch das Vermessungsbüro A. Flotron in Meiringen, beim und **Giétro** für die Kraftwerke Mauvoisin durch das Vermessungsbüro H. Leupin in Bern und bei **Gries** und **Allalin** für die VAW (im Auftrag der Kraftwerke Ägina bzw. Mattmark) durch deren Mitarbeiter H. Bösch und W. Schmid am Autographen des Geodätischen Instituts der ETH Zürich ausgeführt worden. Das Bundesamt für Landestopographie (L+T) und die Eidgenössische Vermessungsdirektion (V+D) haben 51 Vermessungsflüge über Gletschern durchgeführt (Tab. 2.1).

#### Forschungsprojekte

Zusammenfassende Übersichten über die glaziologische Forschungstätigkeit in der Schweiz erscheinen als periodische Mehrjahresberichte [Haeberli, 1990a] im Bulletin 'ICE' der 'International Glaciological Society'. Die nachstehende Darstellung einzelner Forschungsprojekte stützt sich wie die Bildberichte über Tiefbohrungen (Findelen, Jakobshavn) und Radarsondierungen (Corbassière) in Kapitel 4.1 auf den Jahresbericht der VAW [1988].

Im Zusammenhang mit den (in früheren Berichten beschriebenen) Untersuchungen über kurzfristige Schwankungen der Eisbewegung an der Oberfläche und des Wasserdrucks an der Sohle des **Findelengletschers** [Iken und Bindschadler, 1986], ist im Rahmen je einer Dissertation die Frage untersucht worden, welche Eigenschaften und Bedingungen die basale Eisschicht kennzeichnen [Zryd, 1991] und welchen Einfluss die Reibung an der Sohle auf die Gleitbewegung des Gletschers ausübt [Schweizer, 1989]. Dabei wurde das Gletscherfliessen in einem bestimmten Ausschnitt an der Sohle eines 200 m dicken Gletschers im mathematischen Modell mittels der Methode der finiten Elemente berechnet für unterschiedlich beschaffenes Eis, dessen Fliesseigenschaften und -verhalten in mikro- und makroskopischen Grössenbereichen ermittelt wurden. Die experimentellen Untersuchungen im Molekularbereich wurden an Eisproben im Labor des 'Institut de génie atomique' der ETH Lausanne durchgeführt. Am Gletscher wurde die Eisbewegung an der Oberfläche (an Pegelstangen), im Innern (in Bohrlöchern) und an der Sohle nahe am Zungenende erfasst. Die Vorgänge und Verhältnisse an der Sohle und in der basalen Eisschicht wurden in einem eigens zu diesem Zweck erstellten Eistunnel und in natürlicherweise zugänglichen Hohlräumen beobachtet oder gemessen. Vergleichsmessungen wurden in der Eisgrotte am **Rhonegletscher** und an der durch Kraftwerkstollen erschlossenen Sohle des **Argentièregletschers** vorgenommen. Topographische Aufnahmen im gletschernahen, seit etwa 1960 vom **Findelengletscher** freigegebenen Teil des Vorfelds, wo mehrere Längsprofile in der vormaligen, aus den Schrammen an der Fels-oberfläche ersichtlichen Fließrichtung des Eises grossmasstäblich vermessen wurden, lieferten Angaben über die Beschaffenheit (Form, Rauigkeit usw.) des Gletscherbetts. Aus den numerischen Berechnungen ging hervor, dass der Einfluss der Reibung auf die Gleitbewegung stark zunimmt, falls sich das Eis infolge erhöhten subglazialen Wasserdrucks vom Gletscherbett löst durch Hohlrumbaueung im Lee von Bettunebenheiten.

Im Rahmen des Forschungsauftrags der Kraftwerke Mauvoisin wird am **Corbassièregletscher** seit 1967 ausser der Längenänderung am Zungenende auch die Dickenänderung sowie die Fliessgeschwindigkeit des Eises in zwei Querprofilen jährlich gemessen. Die Geschwindigkeit ergibt sich aus der Entfernung gefärbter flacher Steine von ihrem Ausgangspunkt auf der Profillinie, auf der sie jedes Jahr neu ausgelegt werden. Die Massenänderung ist mit dieser Methode nur indirekt und ausschliesslich im Zehrgebiet bestimmbar. Sie ergibt sich als durchschnittlicher Abtrag aus der Bilanz über Eiszufluss und Dickenänderung im talseits des Profils gelegenen Gebiet. Der Zufluss lässt sich aus der gemessenen Fliessgeschwindigkeit berechnen, wenn die Fläche des vertikalen Schnitts durch den Gletscher im Durchflussprofil bekannt ist. Im Frühjahr 1988 ist die Gletscherzunge mittels Radarsondierungen in den jährlich vermessenen und in drei weiteren Querprofilen ausgelotet worden (Kap. 4.1), was die Rekonstruktion des Eisdurchflusses durch die Profile und der Massenbilanz in den unterliegenden Sektoren des Corbassièregletschers ermöglichte. Diese indirekt ermittelten Bilanzwerte stimmen in allen Jahren ausser 1979 gut überein mit den Messwerten, die auf dem benachbarten **Giétrogletscher** am Pegelnetz direkt bestimmt wurden. Im Ausnahmejahr hatte sich die Fliessgeschwindigkeit im oberen Profil verdoppelt, was auf einen stark erhöhten Anteil des Gleitens in der Gletscherbewegung hinweist. Eine vergleichbare sprunghafte Beschleunigung der Gletscherbewegung innert eines Jahres war etwa gleichzeitig im Zungengebiet des Findelengletschers aufgetreten. Wesentlich gleichmässiger verlief die Beschleunigung im unteren Profil, wo die Geschwindigkeit während mehrerer Jahre ziemlich stetig anstieg auf nahezu doppelte Werte. In vergleichbarer Weise und annähernd so stark (bis 80 %) beschleunigte sich in den gleichen Jahren die Bewegung auch im Zungengebiet anderer Gletscher wie z.B. **Giétro** und **Allalin**.

Beobachtungen über die Gletscherbewegung liegen von allen Gletschern vor, deren Massenhaushalt aufgrund von Messungen an einem Pegelnetz ermittelt wird. Seit einigen Jahren sind diese Messnetze, die auf einzelnen Gletschern zeitweise 50-80 Pegelstangen umfassten, auf je 10 Pegel reduziert. In Jahren mit ausgeglichenem Haushalt liegen im Nährgebiet wie im Zehrgebiet je 5 Messpunkte. Auf weiteren Gletschern (z.B. **Allalin** und **Giétro**) dienen solche Pegelnetze vor allem der Bewegungsmessung. Auf dem **Corbassièregletscher** wird die Bewegung in zwei Querprofilen ermittelt, indem auf der Profillinie gefärbte Steine ausgelegt werden. Im folgenden Jahr wird die Entfernung von der Linie gemessen, bevor die Steine ins Profil zurückgelegt werden. Diese einfache, im letzten Jahrhundert übliche Methode hat auf dem **Rhonegletscher** von 1874 an rund 50 Jahre lang hervorragende Ergebnisse geliefert [Mercanton, 1916] und auch im vorliegenden Fall 20 Jahre lang ungestört funktioniert. Erst in jüngster Zeit haben gedankenlose Touristen einzelne Steine als Wegmarkierungen zweckentfremdet und versetzt. Auf den **Aaregletschern**, wo die Bewegung in früheren Jahren ebenfalls an Steinreihen gemessen wurde, kommt heute eine der modernsten Methoden zur Anwendung. Dabei wird die Bewegung mittels jährlich aufgenommener Luftbilder in einem speziellen, auf dem direkten Vergleich der Aufnahmen zweier Jahre beruhenden Auswerteverfahren photogrammetrisch bestimmt [Flotron, 1979]. Die beiden Methoden (Steinreihen und Direktvergleich) verbindet der gemeinsame Nachteil, dass sie - im Gegensatz zu Pegelmessungen - nur bei schneefreier Gletscheroberfläche und damit nur im Zehrgebiet anwendbar sind. Für beide Methoden ist zudem eine minimale - bei den Steinreihen künstlich erzeugte - Schuttbedeckung der Eisoberfläche erforderlich.

Ein Bildbericht über die Erprobung des verbesserten Heisswasser-Tiefbohrgeräts der VAW [Iken, 1988] auf dem **Findelengletscher** und über den erfolgreichen Einsatz desselben bei Tiefbohrungen bis 1300 m (im Sommer 1989 bis 1630 m) auf dem **Jakobshavngletscher** in Westgrönland [Iken, 1989; Iken et al., 1993] ist in Kapitel 4.1 zu finden.

Die Forschungsprojekte am **Colle Gnifetti** (Kap. 2.2 und 4.2) und am **Piz Corvatsch** [Vonder Mühl und Haerberli, 1990; Haerberli 1990b], die vornehmlich der Beschaffung von Klimadaten im Hochgebirge aus vorindustrieller bis vorgeschichtlicher Zeit dienen, sind im Berichtsjahr (wie auch 1989) weitergeführt worden, ebenso die Untersuchungen über die Ursachen der Murgänge und Hochwasser, die im Sommer 1987 in manchen Gebieten der Schweizer Alpen grossen Schaden angerichtet hatten [Zimmermann, 1990; BWW/LHG, 1991; Haerberli, 1992].

Die weltweit erhobenen Daten über die Gletscherveränderungen werden vom World Glacier Monitoring Service an der VAW periodisch (alle 5 Jahre) gesammelt und veröffentlicht. In Band 5 des internationalen Gletscherberichts 'Fluctuations of Glaciers' sind sie für die Jahre 1980-1985 zusammengefasst [IAHS (ICSI) / UNEP / UNESCO, 1988]. Gleichenorts werden die nationalen Aufnahmen über den Gesamtbestand der Gletscher zu einem Welt-Gletscherinventar zusammengefügt. Nach den neuesten Angaben [IAHS (ICSI) / UNEP / UNESCO, 1989] bedecken die Gletscher der Alpen eine Fläche von 2909 km<sup>2</sup>, die sich auf die einzelnen Länder wie folgt verteilt: Schweiz 1342, Italien 607, Österreich 542, Frankreich 417, Deutschland 1 km<sup>2</sup>.

In einem Aufsatz [Aellen, 1989b] sind die Gletscher, die - auch in unseren Berichten - vornehmlich im Zusammenhang mit dem Wasserhaushalt oder mit der Klimageschichte betrachtet und beschrieben werden, aus hierzulande ungewöhnlicher Sicht dargestellt als besondere geologische Formation.

## 2.2 TÄTIGKEIT UND EREIGNISSE 1988/89

### Zungenbeobachtungen

Im Herbst 1989 sind 107 Gletscher erfasst worden, die mit zwei Ausnahmen ein statistisch verwertbares Ergebnis geliefert haben.

Die nachstehende Zusammenstellung gibt an, welche Institutionen und privaten Beobachter im Berichtsjahr wieviele Gletscherzungen beobachtet haben. Die Ergebnisse sind in Kapitel 3 zu finden.

<b>Kantonale Forstdienste</b>	<b>66</b>	<b>Private Mitarbeiter</b>	<b>18</b>
Bern	10	Y. Biner	1
Glarus	1	J.-L. Blanc	3
Graubünden	15	H. Boss Jun.	1
St. Gallen	1	H. Boss Sen.	2
Tessin	6	A. Godenzi	2
Uri	8	E. Hodel	1
Waadt	4	P. Mercier	4
Wallis	21	U. Steinegger	1
		W. Wild	2
<b>Kraftwerke</b>	<b>6</b>	R. Zimmermann	1
Ägina	1		
Mattmark	1	<b>ETH Zürich: VAW-Glazologie</b>	<b>20</b>
Mauvoisin	2	im Gelände	10
Oberhasli	2	Luftbilder	10

### Vermessungsflüge

Bei 6 Gletschern sind uns die Ergebnisse der photogrammetrischen Auswertungen zur Verfügung gestellt worden: wie bisher sind die **Aaregletscher** (für die Kraftwerke Oberhasli durch das Vermessungsbüro A. Flotron, Meiringen), der **Giétrogletscher** (für die Kraftwerke Mauvoisin durch das Vermessungsbüro H. Leupin, Bern) und der **Allalिंगletscher** (für die VAW durch deren Mitarbeiter W. Schmid am Autographen des Geodätischen Instituts der ETH Zürich); neuerdings sind auch der **Gries-** und der **Findelengletscher** (für die VAW durch ihren Mitarbeiter H. Bösch am selben Autographen) luftphotogrammetrisch vermessen worden. Das Bundesamt für Landestopographie (L+T) und die Eidgenössische Vermessungsdirektion (V+D) haben 61 Vermessungsflüge über Gletschern durchgeführt (Tab. 2.1).

### Mutationen

Seit 1964 wird die Organisation der Gletscherbeobachtungen, das Sammeln, Sichten und Veröffentlichen der Ergebnisse der jährlichen Erhebungen am Beobachtungsnetz betreut durch Mitarbeiter der VAW. Die Zusammenarbeit dieses Instituts und der Gletscherkommission am gemeinsamen Forschungsprojekt 'Gletscherveränderungen in den Schweizer Alpen' hat bisher auf einer brieflichen Vereinbarung beruht. Diese Rechtsgrundlage ist neuerdings gefestigt worden durch eine vertragliche, ab Jahresanfang 1990 rechtskräftige Regelung. Wesentlicher Bestandteil des neuen Forschungsvertrags ist die Umbildung der kommissionsintern seit 1955 eingesetzten 'Arbeitsgruppe für Gletscherbeobachtungen' zum Leitungsorgan des gemeinsamen Forschungsprojekts.

## Forschungsprojekte

Zusammenfassende Übersichten über die glaziologische Forschungstätigkeit in der Schweiz erscheinen als periodische Mehrjahresberichte [Haeberli, 1990a] im Bulletin 'ICE' der 'International Glaciological Society'. Die nachstehende Darstellung einzelner a stützt sich wie die Bildberichte über Sondierungen (Colle Gnifetti) und Vermessungen (Nordbo) in Kapitel 4.2 auf den Jahresbericht der VAW [1989a].

Auf dem Firnsattel des **Colle Gnifetti** (4450 m) sind mehrere Eisbohrkerne gezogen worden, die in verschiedenen Laboratorien eingehend untersucht werden auf ihren Ionen- und Isotopengehalt, auf Gase, Säuren, Aerosole, Staub und andere im Eis eingelagerten Spurenstoffe, die Aufschluss geben über die Zusammensetzung und die Veränderung der Atmosphäre im Alpenraum während der letzten Jahrhunderte, wenn nicht Jahrtausende. Die Geschichte der Atmosphäre ist aus den Ergebnissen dieser Analysen nur dann rekonstruierbar, wenn sich die durchbohrten Firn- und Eisschichten mit verlässlicher Genauigkeit datieren lassen. Grundlegende Voraussetzung dafür ist die genaue Kenntnis der räumlichen Abmessungen des Gletschers und der Bewegung des Eises in der Umgebung der Bohrstellen. Ziel eines glaziologischen Forschungsprojekts [Haeberli et al., 1988] ist das Erarbeiten dieser Grundlagen in einem dreidimensionalen mathematischen Modell mittels finiter Elemente, gestützt auf das am Bohrkern gewonnene Dichteprofil und auf die am Gletscher durch Bewegungs- und Akkumulationsmessungen an Pegelstangen, durch Vermessen der Oberfläche sowie durch Ausloten des Gletscherbetts mittels Radar ermittelten Daten. Die Notwendigkeit einer aufwendigen dreidimensionalen Modellierung ergab sich daraus, dass sich Herkunft und Alter der einzelnen Schichten im Bereich des tiefsten Bohrlochs (124 m) mit einem zweidimensionalen Modell nur im obersten Drittel, d.h. nur für die Ablagerungen des 20. Jahrhunderts hinreichend genau rekonstruieren liessen. Aus den räumlichen Berechnungen geht hervor, dass die Fliesslinien an der Oberfläche und in der Tiefe nicht durchwegs parallel oder konvergent gleichgerichtet sind. An bestimmten Stellen bewegt sich der Firn an der Oberfläche südwestwärts, das Eis an der Sohle dagegen nordostwärts, weil die Wasserscheide am Gletscherbett anders verläuft als an der Oberfläche.

Am **Altsgletscher** treten in Zeitabständen von etwa 5 Jahren ausgeprägte Rutschungsbewegungen auf, die vor allem durch das Aufreissen grosser Spalten im oberen Teil der schmalen Zunge augenfällig in Erscheinung treten. Im Herbst 1989, 4 Jahre nach einer relativ schwachen Rutschung, kam eine stärkere in Gang. Am 31. August hatte sich im Anrissgebiet, etwa 200 m unterhalb des Bergschrundes, eine Spalte gebildet, die sich mit zunehmender Geschwindigkeit so schnell öffnete, dass sie am 4. Oktober rund 27 m weit klaffte. Die Bewegung des Gletschers wird seit einigen Jahren beobachtet durch Messungen an eingebohrten Stangen und durch Luftbildaufnahmen. Während des Rutschungsvorgangs wird die Pegelvermessung kurzfristig (ungefähr wöchentlich) wiederholt und ergänzt durch tägliche Aufnahmen mittels einer automatischen Kamera sowie durch mehrmalige Aufnahme der Luftbilder. Die Messungen dienen der Erforschung des Rutschungsmechanismus (Auslösung, Ablauf) im Rahmen eines Forschungsprojekts der VAW. Da periodische Rutschungsbewegungen auch bei anderen steilen Gletschern in jährlichen bis mehrjährigen Zeitabständen auftreten und verschiedentlich zu Eislawinen oder Gletscherstürzen führten, sind die Untersuchungen am Altels von grundlegender Bedeutung für die Wahrnehmung und die Beurteilung von Gefahrensituationen.

Unabhängig von der im Sommer 1989 fortgesetzten Auslotung des Jakobshavngletschers in Westgrönland (Kap. 2.1 und 4.1) wurde am **Nordbogletscher** in Südgrönland ein glaziologisches Untersuchungsprogramm begonnen (Kap. 4.2). Im Rahmen dieses Forschungsauftrags ging es darum, die Kal-

bungsgeschwindigkeit eines Gletschers bei grosser Wassertiefe (>50 m) und geringer Wasserdichte (Süsswasser) zu erfassen, um bessere Grundlagen zu erhalten für die Beurteilung der Folgen beim Überfluten des **Unteraargletschers** durch den Grimsensee infolge des im Projekt 'Grimsel West' der KWO vorgesehenen Aufstaus auf Kote 2020 m [Funk und Müller, 1990; VAW, 1990b].

Die wichtige und seit langem bekannte Bedeutung der Gletscher und ihrer Veränderungen als Zeugen für Klimaveränderungen war ein Hauptmotiv für die Durchführung der systematischen Erhebungen, mit denen die Längenänderung seit 1880 in allen Regionen erfasst wird als Indexgrösse, die mit einfachen Mitteln und Methoden messbar ist. Ebenso war sie ein Hauptmotiv dafür, mit grösserem Aufwand den Massenhaushalt und die Fliessgeschwindigkeit einzelner Gletscher zu erfassen, um Einblick zu erhalten in die komplexen Beziehungen zwischen Gletscher- und Klimaschwankungen. Solche Messprogramme sind am **Rhonegletscher** von 1874 bis 1923 durchgeführt worden oder sind am **Claridenfirn** seit 1914, am **Grossen Aletschgletscher** seit 1942 im Gang. An andern Gletschern wurden sie ermöglicht durch Forschungsaufträge aus der Wasserwirtschaft, z.B. an den **Aaregletschern** seit 1924, in **Mattmark** seit 1945 und im **Limmergebiet** seit 1947. Im Zusammenhang mit den Fragen um eine künftige, durch menschlichen Einfluss verstärkte Klimaerwärmung sind lange Gletschermessreihen umso wertvollere Grundlagen für Analysen, Interpretationen und Prognosen, je weiter sie in die Vergangenheit zurückreichen und je vollständiger sie vorliegen. Unvollständige Reihen lassen sich ergänzen durch zusammenfassende Überarbeitungen und gestützt auf klimatologische Daten, indem fehlende Teile überbrückt (interpoliert) oder angefügt (extrapoliert) werden. In den letzten Jahren sind die Beobachtungsreihen über den Wasserhaushalt 1931-1987 des **Massagebiets** [Aellen und Funk, 1990] und über den jährlichen Firnzuwachs 1914-1984 auf dem **Claridenfirn** [Müller und Kappenberger, 1991] aufgearbeitet worden (vgl. vorangehende Jahrbücher).

In einer weiteren Studie ist die - von 1923 bis 1979 unterbrochene - Reihe über den Massenhaushalt 1882-1987 des **Rhonegletschers** vervollständigt worden [Chen und Funk, 1990]. Im Rahmen der früheren Vermessungen am Rhonegletscher waren Bewegungsmessungen an Steinreihen von 1874 an, Haushaltmessungen an Pegelstangen von 1882 an durchgeführt und teilweise bis 1923 weitergeführt worden; die Ergebnisse sind jedoch nur bis 1915 veröffentlicht [Mercanton, 1916]. Auf neuere Untersuchungen des Massenhaushalts in den Jahren 1979-1982 [Funk, 1985] ist im 101. Gletscherbericht (1979/80) hingewiesen. Aufgrund der von Mercanton und Funk publizierten Messreihen wurde zunächst die Massenänderung des ganzen Gletschers für die Jahre 1884-1909 in gleicher Weise berechnet wie für die Jahre 1979-1982. Die vereinheitlichten Jahreswerte der beiden Messperioden wurden sodann verglichen mit den in den gleichen Zeiträumen an den SMA-Stationen Andermatt und Reckingen gemessenen Jahressummen des Niederschlags und Sommermitteln der Lufttemperatur. Mit den aus diesem Vergleich abgeleiteten statistischen Berechnungsformeln ist schliesslich die Massenbilanz des Rhonegletschers für alle 105 Haushaltsjahre von 1882 bis 1987 aus den Klimadaten der beiden SMA-Stationen rekonstruiert worden. Hieraus ergibt sich eine durchschnittliche jährliche Abnahme der Eisdicke um 28 cm (25 cm Wasserwert) mit einer mittleren Fehlerabweichung von rund 6 cm. Zur Kontrolle der Ergebnisse wurde die Volumenverminderung nach der geodätischen Methode berechnet aufgrund der topographischen Aufnahmen von 1874/1882 (Spezialkarte des Rhonegletschers) und 1959/1969 (Landeskarte). Dies ergab eine durchschnittliche jährliche Dickenabnahme um 26 ( $\pm 6$ ) cm Wasserhöhe, die mit den Ergebnissen der Massenbilanz gut übereinstimmt.

## 2. CHRONIQUE

### 2.1 ACTIVITÉ ET ÉVÉNEMENTS 1987/88

#### *Observation des langues glaciaires*

En automne 1988, sur 108 glaciers observés, un seul n'a pas livré des résultats statistiquement interprétables.

Les institutions et les personnes privées, qui ont participé à l'exercice actuel, sont cités dans la liste suivante avec le nombre des langues glaciaires observées.

<i>Services forestiers des cantons</i>	67	<i>Collaborateurs privés</i>	17
Berne	11	Y. Biner	1
Glaris	1	J.-L. Blanc	3
Grisons	16	H. Boss fils	1
Obwald	2	H. Boss père	2
Saint-Gall	2	A. Godenzi	2
Tessin	6	E. Hodel	1
Uri	6	P. Mercier	4
Valais	19	W. Wild	2
Vaud	4	R. Zimmermann	1
<i>Forces motrices</i>	6	<i>EPF Zurich: VAW-Glaciologie</i>	21
Aegina	1	sur le terrain	9
Mattmark	1	photos aériennes	12
Mauvoisin	2		
Oberhasli	2		

#### *Vols photogrammétriques*

Nous bénéficions, comme à l'accoutumée, de restitutions photogrammétriques pour 4 glaciers. Elles ont été effectuées, pour les glaciers de l'Aar, par le bureau A. Flotron de Meiringen, à la demande des Forces motrices de l'Oberhasli; pour le glacier de Giétro, par le bureau H. Leupin de Berne, à la demande des Forces motrices de Mauvoisin; et pour le glacier de gries et de l'Allalin, à la demande des VAW, par ses collaborateurs H. Bösch et W. Schmid, à l'aide de l'autographe de l'Institut de géodésie de l'EPFZ. Les vols photogrammétriques de l'Office fédéral de topographie (S+T) et de la Direction fédérale des mensurations cadastrales (D+M) ont porté sur 51 glaciers (tabl. 2.1).

#### *Projets du recherches*

Les rapports pluriannuels [Haeberli, 1990a] publiés dans le bulletin 'ICE' de l'International Glaciological Society font le tour d'horizon sur les projets des recherches glaciologiques actuels en Suisse. Les lignes suivantes ainsi que les reportages illustrés du chapitre 4.1 sur les forages profonds (Findelen, Jakobshavn) et les sondages radar (Corbassière) montrent quelques exemples, tirés du Rapport annuel des VAW [1988]:

*Dans le cadre d'un projet de recherches (décrit dans nos rapports précédents) destiné à l'étude des variations à courte échéance du mouvement glaciaire à la surface et de la pression hydrostatique à la base du glacier de Findelen [Iken et Bindenschadler, 1986], les conditions dans la couche basale du glacier ont été examinées dans une thèse [Zryd, 1991], tandis que la friction à la base du glacier et son influence sur le glissement a été discutée dans une autre [Schweizer, 1989]. A l'aide de modélisations numériques par éléments finis, on a calculé le flux de glace dans un secteur défini à la base d'un glacier épais de 200 m, en tenant compte de la qualité variable de la glace; les propriétés et le comportement rhéologiques ont été étudiées pour différentes qualités de glace, tant à l'échelle microscopique qu'à l'échelle macroscopique. Des expériences à l'échelon moléculaire ont été effectuées aux laboratoires de l'Institut de génie atomique de l'EPF à Lausanne. Sur le terrain, on a mesuré le mouvement glaciaire à la surface (sur les balises), à l'intérieur (dans des trous de forage) et à la base du glacier dans sa partie frontale. L'observation des conditions et des procès à la base s'est faite dans une galerie (taillée dans la glace à cette fin) ou dans des cavités naturelles accessibles. Des mesures comparatives ont été effectuées dans la grotte bleue du glacier du Rhône ainsi qu'à la base du glacier d'Argentières rendue accessible par les galeries des forces motrices. Des relevés topographiques à grande échelle, effectués sur le terrain récemment délaissé (dès 1960 env.) par le glacier de Findelen, ont fourni les paramètres morphologiques du lit du glacier (forme, âpreté etc.); ces données ont été relevées dans plusieurs profils longitudinaux, chacun suivant la direction indiquée par les stries gravées dans la surface polie des roches moutonnées lors du passage du glacier. Les calculs numériques ont montré que l'influence de la friction devient fortement importante pour le glissement, dès que la pression hydrostatique augmente et provoque une séparation de la glace et son soubassement (formation de cavités sous-glaciaires à l'aval des mamelons).*

*Au glacier de Corbassière, observé à la demande des forces motrices de Mauvoisin, depuis 1967, les variations annuelles de l'épaisseur de la glace et du mouvement glaciaire sont déterminées dans 2 profils transversaux et la variation de longueur est mesurée sur le front terminal. La vitesse du mouvement est obtenue en mesurant la distance des pierres peintes par rapport au tracé du profil, sur lequel elles sont alignées chaque année. Par cette méthode, le bilan de masse ne peut être déterminé que de manière indirecte et dans la zone d'ablation seulement; résultant du bilan établi sur l'afflux de glace et la variation de l'épaisseur dans le secteur situé à l'aval du profil, il indique l'ablation moyenne dans ce secteur. L'afflux est donné par l'écoulement de glace solide dans le profil, dont il faut connaître l'ouverture pour le calcul des débits de glace à partir des vitesses observées. Par des sondages radar effectués dans 5 profils transversaux, au printemps 1988 (chap. 4.1), on a complété les données nécessaires à ces calculs. Les bilans annuels ainsi reconstitués ont fourni des valeurs qui - exception faite de l'année 1979 - s'accordent bien aux bilans de masse déterminés sur le réseau de balises installé au glacier voisin de Giétro. En 1979, on a constaté une accélération subite, redoublant les vitesses au profil supérieur. Par contre, au profil inférieur, les vitesses se sont accélérées presque autant, mais assez régulièrement durant plusieurs années. Les mêmes années ont vu s'accélérer quasi simultanément bien d'autres langues glaciaires; citons l'avance subite du glacier de Findelen, où les vitesses ont évolué à la manière du profil supérieur du Corbassière, et les crues plus régulières des glaciers de Giétro et d'Allalin, où l'évolution des vitesses ressemble celle du profil inférieur.*

*Le mouvement glaciaire est observé sur tous les glaciers qui sont jalonnés d'un réseau de balises utilisé pour l'estimation du bilan de masse. Depuis plusieurs années, le nombre de balises, atteignant naguère 70 à 80 sur certains glaciers, a été réduit à 10 par glacier, 5 pour la zone d'accumulation et 5 pour la zone*

d'ablation, lorsque le bilan de masse est plus ou moins équilibré. Sur quelques glaciers, ceux de l'*Allalin* et de *Giétro*, par exemple, les balises servent surtout à l'observation du mouvement de la glace. On applique en revanche, au glacier de *Corbassière*, la méthode dite des chaînes de pierres peintes. Sur la langue de ce glacier, on trace deux lignes droites en disposant des pierres colorées à la surface de la glace. L'année suivante, on note le trajet parcouru par ces repères avant de les replacer sur la ligne du profil. Cette procédure date du siècle dernier déjà; elle a fourni, à partir de 1874 et pendant 50 ans, d'excellents résultats pour le glacier du *Rhône* [Mercanton, 1916] et, deux décennies durant, pour celui de *Corbassière*. Mais depuis quelque temps, des touristes peu scrupuleux s'amuse à déplacer ces pierres, faussant ainsi les résultats. Un autre procédé, plus sophistiqué celui-ci, est appliqué aux glaciers de l'*Aar*: le mouvement de la glace est déterminé par comparaison photogrammétrique directe des clichés aériens de deux années successives [Flotron, 1979]. Cependant, contrairement à celle des balises, ces deux dernières méthodes présentent un inconvénient: elles ne s'appliquent qu'à la zone d'ablation des glaciers dont la surface n'est pas recouverte de neige. D'ailleurs, une couverture minimale de débris rocheux - artificielle dans le cas des chaînes de pierres - est nécessaire à ces deux méthodes.

L'un des reportages illustrés du chapitre 4.1 concerne les forages profonds effectués avec la sonde hydrothermique améliorée par les VAW [Iken, 1988] lors de la mise à l'épreuve au glacier de *Findelen* et lors de la campagne au glacier de *Jakobshavn*, sur la côte ouest du Groenland, où le forage a atteint une profondeur de 1300 m, en 1988, et de 1630 m, l'année suivante [Iken, 1989; Iken et al., 1993].

Les projets de recherches destinés surtout à collecter des données qui devraient permettre de reconstituer les conditions climatiques des temps préindustriels à préhistoriques dans les hautes Alpes, ont été poursuivis, en 1988 (et encore en 1989), par les sondages effectuées au *Colle Gnifetti* (chap. 2.2 et 4.2) et au *Piz Corvatsch* [Vonder Mühll et Haeberli, 1990; Haeberli 1990b]. Il en est de même pour l'étude en cours sur les causes des crues et des laves torrentielles de l'été 1987 qui avaient dévasté nombreuses régions des Alpes suisses [Zimmermann, 1990; BWW/LHG, 1991; Haeberli 1992].

Les données sur les variations des glaciers sont collectées et publiées périodiquement (tous les 5 ans) à l'échelle mondiale par le 'World Glacier Monitoring Service' domicilié aux VAW. Le volume 5 des rapports glaciologiques internationaux 'Fluctuations of Glaciers' concerne les années 1980-1985 [IAHS (ICSI) / UNEP / UNESCO, 1988]. Le même service préside à l'établissement d'un inventaire mondial des glaciers fondé sur les relevés nationaux sur l'état actuel des glaciers. Selon les dernières informations [IAHS (ICSI) / UNEP / UNESCO, 1989], la surface englacée dans les Alpes mesurant 2909 km<sup>2</sup>, au total, est répartie sur les territoires nationaux comme il suit: Suisse 1342, Italie 607, Autriche 542, France 417, Allemagne 1 km<sup>2</sup>.

Dans un essai [Allen, 1989b], les glaciers que - même dans nos rapports - nous traitons et décrivons préférentiellement sous des points de vue hydrologiques ou climatologiques, sont présentés dans leur aspect assez peu connu d'une formation géologique particulière.

## 2.2 ACTIVITÉ ET ÉVÉNEMENTS 1988/89

### Observation des langues glaciaires

En automne 1989, sur 107 glaciers inspectés, deux n'ont pas livré de résultats statistiquement interprétables.

Les institutions et les personnes privées, qui ont participé à l'exercice actuel, sont cités dans la liste suivante avec le nombre des langues glaciaires observées.

<b>Services forestiers des cantons</b>	<b>66</b>	<b>Collaborateurs privés</b>	<b>18</b>
Berne	10	Y. Biner	1
Glaris	1	J.-L. Blanc	3
Grisons	15	H. Boss fils	1
Saint-Gall	1	H. Boss père	2
Tessin	6	A. Godenzi	2
Uri	8	E. Hodel	1
Valais	2	P. Mercier	4
Vaud	4	U. Steinegger	1
		W. Wild	2
		R. Zimmermann	1
<b>Forces motrices</b>	<b>6</b>	<b>EPF Zurich: VAW-Glaciologie</b>	<b>20</b>
Aegina	1	sur le terrain	10
Matmark	1	photos aériennes	10
Mauvoisin	2		
Oberhasli	2		

### Vols photogrammétriques

Nous bénéficions, comme à l'accoutumée, de restitutions photogrammétriques pour 5 glaciers. Elles ont été effectuées, pour les glaciers de l'Aar, par le bureau A. Flotron de Meiringen, à la demande des Forces motrices de l'Oberhasli, pour le glacier de Giétro, par le bureau H. Leupin de Berne, à la demande des Forces motrices de Mauvoisin, et, pour le glacier de l'Allalin, à la demande des VAW, par son collaborateur W. Schmid, à l'aide de l'autographe de l'Institut de géodésie de l'EPFZ. Deux nouveaux glaciers, ceux de Gries et de Findelen, ont été examinés de la même manière, à la demande des VAW, par son collaborateur H. Bösch. Les vols photogrammétriques de l'Office fédéral de topographie (S+T) et de la Direction fédérale des mensurations cadastrales (D+M) ont porté, en été 1987, sur 61 glaciers (tabl. 2.1).

### Mutations

Depuis 1964, l'organisation de l'observation des glaciers, la récolte, le contrôle et la publication des résultats sont assurés par les collaborateurs de la section de glaciologie des VAW. Fondée naguère sur un accord écrit, la collaboration entre cet institut et la Commission des glaciers au projet intitulé 'Variations des glaciers des Alpes suisses', est réglée depuis le début de 1990 par une convention juridique. Sa clause principale consiste en l'établissement d'un organe directeur commun, qui remplace l'ancien 'groupe de travail pour l'observation des glaciers', créé en 1955 par la Commission des glaciers.

### **Projets du recherches**

*Les rapports pluriannuels [Haerberli, 1990a] publiés dans le bulletin 'ICE' de 'l'International Glaciological Society' font le tour d'horizon sur les projets des recherches glaciologiques actuels en Suisse. Les lignes suivantes ainsi que les reportages illustrés du chapitre 4.2 sur les sondages (Colle Gnifetti) et les mensurations (Nordbo) montrent quelques exemples, tirés du Rapport annuel des VAW [1989a].*

*Dans l'ensellement englacé du Colle Gnifetti (4450 m), on a tiré plusieurs carottes de glace qui sont examinées dans différents laboratoires, afin de détecter leurs compositions ionique et isotopique ainsi que leur teneur en gases, acides, aérosols, poussières ou autres matières incluses dans la glace, susceptibles de révéler la composition de l'atmosphère et sa variabilité dans la région des Alpes durant ces derniers siècles, sinon millénaires. Pourtant, les résultats de ces analyses ne permettront guère de reconstituer l'histoire de l'atmosphère, à moins que les couches de névé et de glace soient datées avec une certitude fiable. Or, il faut reconstituer d'abord l'histoire des grains de glace saisis dans les carottes, en examinant les dimensions géométriques et dynamiques du glacier aux alentours des forages. Une étude glaciologique est en cours [Haerberli et al., 1988], afin de produire ces données fondamentales à l'aide de modélisations numériques tri-dimensionnelles par éléments finis, en tenant compte des densités du névé et de glace déterminées sur les carottes, de l'accumulation et du mouvement déterminés sur le réseau de balises ainsi que des données topographiques déterminées par mensurations à la surface et par sondages radar. Par des modélisations bi-dimensionnelles, la datation des couches n'a pu se faire que dans le premier tiers du puits le plus profond (de 124 m), c'est-à-dire pour les couches déposées au cours du 20ème siècle seulement, avec une précision satisfaisante. Apparamment, selon le modèle, les trajectoires parallèles ou convergentes ne pointent dans la même direction que dans une partie du secteur étudié. Les divergences détectées dans d'autres parties sont dues au fait, que le partage des eaux ne suit pas le même tracé à la surface et à la base du glacier. C'est ainsi, que le névé superficiel se déplace vers le sud-ouest, à certains endroits, tandis que la glace basale se déplace vers le nord-est, au même endroit.*

*Au glacier de l'Altels, des glissements temporaires se font remarquer, à des intervalles d'environ 5 années, par la formation de grandes crevasses dans la partie haute de la langue étroite. Le dernier glissement, assez faible, s'est produit il y a 4 ans. Un glissement plus important s'est déroulé en automne 1989. Le 31 août, une crevasse a paru dans la zone d'arrachement, à une distance d'environ 200 m au-dessous de la rimaye. En s'élargissant à une vitesse progressive, son ouverture mesurait près de 27 m, le 4 octobre. Le mouvement du glacier est observé depuis quelques années par des mensurations sur un réseau de balises plantées dans la glace. Durant les périodes de glissement, les contrôles sur les balises sont plus fréquents (environ 1 mensuration par semaine) et complémentées par la prise de clichés photographiques à l'aide d'une caméra automatique, à l'échelle quotidienne, ainsi que par des vols photogrammétriques répétés. Ce programme d'observations sert à l'étude des mécanismes du glissement (déclenchement, déroulement) et fait partie d'un projet de recherches des VAW destiné à procurer des notions et des données fondamentales, nécessaires et importantes pour détecter des situations de danger et pour en censer les risques. Car, on le sait, des glissements périodiques peuvent se reproduire à intervalles annuels ou pluriannuels sur d'autres glaciers raides et éventuellement déclencher des avalanches ou des éboulements glaciaires.*

*L'exploration du glacier de Jakobshavn, à l'ouest du Groenland, s'est poursuivie, en été 1989 (chap. 2.1 et 4.1). Au glacier de Nordbo, au sud du Groenland, les VAW ont entrepris un projet différent faisant*

*partie d'une expertise mandatée par les forces motrices de l'Oberhasli et destiné à l'étude des processus de vèlage au front terminal d'un glacier dans des eaux assez profondes (>50 m), mais dans de l'eau douce (chap. 4.2). Les données récoltées devraient permettre de cerner les risques provoqués par une submersion de la langue du glacier inférieur de l'Aar, jusqu'à la cote 2020 m, à la suite d'une surélévation du barrage du lac de Grimsel prévue dans le projet 'Grimsel-ouest' [Funk et Müller, 1990; VAW, 1990b].*

*On connaît depuis fort longtemps l'importance des glaciers et de leurs variations comme indicateurs des modifications climatiques. C'est pour cette raison primordiale que l'on a entrepris, dès 1880 et à l'échelon national, des campagnes de mesures systématiques de leur longueur. A cette tâche s'est ajoutée la détermination, astreignante et onéreuse, du bilan de masse et de la vitesse d'écoulement de quelques glaciers, permettant d'approfondir l'étude des relations entre les variations climatiques et glaciaires. Citons, à ce propos, les séries de mesures du glacier du Rhône entre 1874 et 1923 ainsi que les séries de mesures, en cours, du glacier de Clariden depuis 1914 et du Grand glacier d'Aletsch depuis 1942. Des mandats de recherche ont permis d'en faire autant, à la demande des sociétés hydroélectriques, p.ex. aux glaciers de l'Aar depuis 1924, aux glaciers de Mattmark depuis 1945 ou aux glaciers de la région de Limmern depuis 1947. Plus ces longues suites d'observations sont anciennes et complètes, plus elles sont précieuses pour la résolution des problèmes relatifs au réchauffement du climat engendré par les activités humaines. Les méthodes de traitement statistique des données permettent de compléter les séries d'observations, en les allongeant (par extrapolation) ou en comblant les lacunes (par interpolation); il est nécessaire, toutefois, de disposer de données mesurées à des stations climatologiques voisines. Les rapports précédents ont cité, en particulier, la série d'observations, de 1931 à 1987, du bilan hydrologique du bassin versant de la Massa [Aellen et Funk, 1990] et la série de mesures, de 1914 à 1984, de l'accumulation nivale au glacier de Clariden [Müller et Kappenberger, 1991].*

*Dans une autre étude, la série des bilans de masse du glacier du Rhône, interrompue de 1923 à 1979, a été complétée pour la période de 1882 à 1987 [Chen et Funk, 1990]. Dans le cadre de l'ancienne campagne de mensurations au glacier du Rhône, on avait suivi son mouvement depuis 1874 au moyen de chaînes de pierres, et calculé son bilan de masse par la méthode des jalons depuis 1882. Ces mesures ont été partiellement poursuivies jusqu'en 1923, mais publiées jusqu'en 1915 seulement [Mercanton, 1916]. Elles ont été reprises - nous l'avons signalé dans notre 101<sup>e</sup> (1979/80) rapport - de 1979 à 1982 [Funk, 1985]. Fondée sur les publications de Mercanton et de Funk, l'étude présente d'abord les variations de masse du glacier tout entier pour la période de 1884-1909, calculées selon la méthode adoptée pour la période 1979-1982. Ensuite, les valeurs de ces deux périodes sont comparées avec les lames d'eau annuelles et les températures estivales moyennes mesurées à 2 stations voisines de l'ISM, Andermatt et Reckingen. Finalement, au moyen des statistiques comparatives et climatiques de ces deux stations, on a entièrement reconstitué le bilan de masse du glacier du Rhône pour les 105 exercices compris entre 1882 et 1987. Il en ressort une diminution annuelle moyenne de l'épaisseur de la glace de 28 cm (valeur en eau: 25 cm), assortie d'une marge d'erreur de 6 cm. On a contrôlé ces résultats en déterminant la diminution du volume de la glace par comparaison entre les levés topographiques du glacier du Rhône réalisés entre 1874 et 1882 pour la carte spéciale d'une part, et ceux de 1959 à 1969 pour la carte nationale d'autre part. Elle a donné une perte moyenne d'épaisseur de 26 ( $\pm 6$ ) cm de valeur en eau par année, ce qui confirme les calculs du bilan de masse.*

Tabelle 2.1: Vermessungsflüge 1988 und 1989

Tableau 2.1: Vols photogrammétriques 1988 et 1989

## a) Jährlich - Annuels

## - Beobachtungsnetz der Gletscherkommission - Réseau de la Commission des glaciers:

Nr. 1)	Gletscher	Aufnahmedatum		Luftbild- nummern	Fluglinie Nummer	Aufnahme durch 2)	Fuss- note
		1988	1989				
1	Rhône	27. 9.		97 - 107	13.1	V+D	3)
		27. 9.		108 - 127	13.2	V+D	
			20. 9.	3779 - 3789	501.1	V+D	
			20. 9.	3814 - 3826	501.2	V+D	
3	Gries (Ägina)	21. 9.		5342 - 5354	106	V+D	4)
			20. 9.	3800 - 3813	502	V+D	
5	Grosser Aletsch	5. 8.		7095 - 7129	5	L+T	
		5. 8.		7169 - 7180	6	L+T	
		5. 8.		7181 - 7192	7	L+T	
			24. 8.	2078 - 2092	5	L+T	
			8. 9.	2449 - 2460	6	L+T	
			8. 9.	2461 - 2472	7	L+T	
HI	Hohlicht	22. 9.		0 - 14	17	V+D	8)
		22. 9.		52 - 72	18	V+D	
			22. 9.	349 - 364	526.2	V+D	
			22. 9.	365 - 384	526.3	V+D	
47	Sex Rouge	5. 8.		7211 - 7223	15	L+T	10)
48	Prapio		8. 9.	2484 - 2494	15	L+T	10)
55	Trift (Gadmen)	5. 8.		7193 - 7200	11	L+T	
			20. 9.	3828 - 3842	201.1	V+D	
			20. 9.	3770 - 3778	201.2	V+D	
56	Rosenlauri	5. 8.		7130 - 7134	10	L+T	
			24. 8.	2069 - 2072	10	L+T	
57	Oberer Grindelwald	9. 8.		7276 - 7284	9	L+T	
			22. 8.	2033 - 2039	9	L+T	
58	Unterer Grindelwald	17. 8.		7670 - 7676	8	L+T	
			22. 8.	2028 - 2032	8	L+T	
61	Gamchi	5. 8.		7135 - 7147	2	L+T	11)
64	Blümlisalp		24. 8.	2093 - 2102	2	L+T	11)
104	Basodino	5. 8.		7201 - 7207	14	L+T	
			20. 9.	3790 - 3799	671	V+D	

Bemerkungen zu den Fussnoten siehe Seite 41 - Remarques ou notes explicatives voir page 41.

Tabelle 2.1: Fortsetzung 1

Tableau 2.1: Continuation 1

- Beobachtungsnetz "Gefährliche Gletscher" - Réseau "Glaciers dangereux":

No. 1) Glacier	Date du levé		Clichés numéros	Ligne de vol no.	Levé par 2)	Note expl.
	1988	1989				
Rb Rotblatt	22. 9.		0 - 11	9	V+D	12)
Rt Rottal VS		25.10.	696 - 706	523.3	V+D	12)
Hb Hohlaub	27. 9.		122 - 143	5	V+D	13)
13 Fee		22. 9.	405 - 428	522.1	V+D	13)
Hm Hohbalm						
Tr Tälli (Fletschhorn)	22. 9.		12 - 22	8	V+D	14)
Ht Hohlentrift		6.12.	2949 - 2964	523.2	L+T	14)
Bi Bider	27. 9.		144 - 147	10	V+D	
		22. 9.	429 - 431	522.2	V+D	
Gr Gruben (Grüebu)	22. 9.		13 - 22	6	V+D	
		25.10.	707 - 714	523.1	V+D	
Ki Kin	22. 9.		130 - 138	12	V+D	15)
Fi Festi		25.10.	687 - 695	526.1	V+D	15)
Hg Hohberg						
107 Bis (siehe Hohlicht)						
18 Lang	18. 8.		7767 - 7818	16	L+T	16)
Dg Distlig						
St Stammbach		8. 9.	2495 - 2435	16	L+T	16)
Bh Birch						
Ne Nest						
49 Pierredar (siehe Sex Rouge / Prapio)						
Hf Hochfirn (Jungfrau)	5. 8.		7089 - 7094	3	L+T	17)
		24. 8.	2073 - 2077	3	L+T	17)
Si Sillern	5. 8.		7148 - 7167	1	L+T	18)
Ba Balmhorn		25. 8.	2168 - 2184	1	L+T	18)
Al Altels		6.12.	2914 - 2927	1	L+T	18)
		6.12.	2928 - 2942	1	L+T	18)
Al Altels (tiefe Fluglinie)	9. 8.		7286 - 7298	1A	L+T	
		8. 9.	2473 - 2483	1.2	L+T	
		6.10.	2809 - 2811	1.2	L+T	
		6.10.	2838 - 2841	1.2	L+T	
		6.10.	2862 - 2864	1.2	L+T	
105 Rossboden	22. 9.		23 - 31	7.1	V+D	19)
	22. 9.		1 - 12	7.2	V+D	
		25.10.	523 - 559	691.1	V+D	19)
		25.10.	560 - 569	691.2	V+D	

Tabelle 2.1: Fortsetzung 2

Tableau 2.1: Continuation 2

- Untersuchungsobjekte der VAW/ETHZ - *Glaciers étudiés par les VAW/EPFZ:*

Nr. 1)	Gletscher	Aufnahmedatum		Luftbild- nummern	Fluglinie Nummer	Aufnahme durch 2)	Fuss- note
		1988	1989				
10	Schwarzberg		22. 9.	337 - 348	521.4	V+D	
			22. 9.	444 - 454	525.5	V+D	
11	Allalin	17.11.		2391 - 2402	1.2	V+D	
		17.11.		2366 - 2378	1.3	V+D	20)
			22. 9.	326 - 336	521.1	V+D	20)
			22. 9.	432 - 443	521.2	V+D	
		23.10.	534 - 551	521.3	V+D	FD	
16	Findelen	22. 9.		32 - 51	19	V+D	21)
			22. 9.	385 - 404	525	V+D	21)
19	Turtmann Di Diablons	22. 9.		104 - 129	14	V+D	22)
			25.10.	672 - 686	531	V+D	22)
TB	Toumelon Blanc	22. 9.		98 - 103	24	V+D	23)
			25.10.	600 - 605	552	V+D	23)
37	Giétro	22. 9.		73 - 82	22.1	V+D	
		22. 9.		83 - 97	22.2	V+D	24)
			25.10.	615 - 625	551.1	V+D	
			25.10.	626 - 639	551.2	V+D	24)
			25.10.	606 - 614	551.3	V+D	25)
38	Corbassière		25.10.	640 - 655	541.1	V+D	
			25.10.	589 - 599	541.2	V+D	26)
42	Saleina An Aneuve	27. 9.		148 - 164	51.1	V+D	27)
			25.10.	570 - 588	553.2	V+D	27)
43	Trient	27. 9.		165 - 179	51.2	V+D	
			25.10.	656 - 671	553.1	V+D	
53	Stein		24. 8.	2061 - 2068	11	L+T	28)
54	Steinlimmi						
78	Limmern	28. 9.		8347 - 8357	19	L+T	29)
114	Plattalva		25. 8.	2124 - 2133	17	L+T	29)
90	Silvretta		8. 9.	3754 - 3765	131	V+D	
94	Morteratsch	7. 9.		4798 - 4816	81	V+D	
		7. 9.		4791 - 4797	81.1	V+D	30)

Tabelle 2.1: Fortsetzung 3

Tableau 2.1: Continuation 3

b) Mehrjährlich - *Pluriannuels*

- Beobachtungsnetz der Gletscherkommission - Réseau de la Commission des glaciers:

No. 1)	Glacier	Date du levé		Clichés numéros	Ligne de vol no.	Levé par 2)	Note expl.
		1988	1989				
15	Zmutt	9. 8.		7362 - 7389	22	L+T	
Hw	Hohwäng						
22	Zinal						
24	Moiry	9. 8.		7342 - 7361	24	L+T	
25	Ferpècle	9. 8.		7328 - 7341	25	L+T	31)
26	Mont Miné	9. 8.		7390 - 7410	26	L+T	32)
27	Arolla	9. 8.		7299 - 7326	28	L+T	33)
28	Tsidjiore Nouve						
29	Cheillon						
30	En Darrey						
34	Otemma	9. 8.		7411 - 7428	34	L+T	34)
35	Mont Durand	9. 8.		7449 - 7458	35	L+T	35)
36	Breney	9. 8.		7430 - 7448	36	L+T	36)
38	Corbassière	9. 8.		7459 - 7483	38	L+T	
80	Glärnisch		25. 8.	2116 - 2123	38	L+T	37)
84	Lenta		25. 8.	2134 - 2140	37	L+T	38)
103	Bresciana						
86	Paradies		25. 8.	2141 - 2155	38	L+T	39)
143	Zapport						
87	Suretta		25. 8.	2156 - 2166	39	L+T	40)

Tabelle 2.1: Fortsetzung 4

Tableau 2.1: Continuation 4

- Untersuchungsobjekte der VAW/ETHZ - *Glaciers étudiés par les VAW/EPFZ:*

Nr. 1)	Gletscher	Aufnahmedatum		Luftbild- nummern	Fluglinie Nummer	Aufnahme durch 2)	Fuss- note
		1988	1989				
M	Blockgletscher Murtèl	21. 9.		5355 - 5368	82	V+D	41)
CG	Colle Gnifetti		22. 9.	320 - 325	522	V+D	
Ba	Balmhorn		6.10.	2843 - 2851	1.3	L+T	
			6.12.	2943 - 2948	1.4	L+T	42)
Th	Tatlishorn		6.10.	2819 - 2824	1.5	L+T	
			6.10.	2855 - 2859	1.5	L+T	
62	Schwarz		6.10.	2803 - 2805	1.6	L+T	

1 In Abbildung 3.1a bzw. 3.2a sind die Gletscher des Beobachtungsnetzes (s. Tab. 3.3) mit ihrer Nummer, die anderen mit ihren Initialen bezeichnet.  
*Dans les figures 3.1a et 3.2a, les glaciers du réseau d'observations (v. tabl. 3.3) sont indiqués par leur numéro, les autres par leurs initiales.*

2 Die Flüge sind ausgeführt worden durch - *Les vols ont été effectués par:*  
 L+T: Bundesamt für Landestopographie - *Office fédéral de la topographie,*  
 V+D: Eidgenössische Vermessungsdirektion - *Direction fédérale des mensurations cadastrales.*

3 - 51 Zusätzlich erfasste Gletscher - *Autres glaciers saisis par le vol:*

3 Gersten (VS), Sidelen, Kehlen, Rotfirm	17 Kühlauenen, Giessen, Rottal (Jungfrau)	31 Mont Miné
4 Ritz, Merezbach, Sulz, Corno	18 Faulen, Tatlishorn, Rinderhorn, Schwarz, Doldenhorn, Biberg	32 Ferpècle
5 Mittelaletsch	19 Griessernen, Bodmer	33 Luette, Pleureur, Sale, Liapay, Crêt
6 Grosses Gufer	20 Hohlaub	34 Petit Mont Collon, Blanchen, Aiguillette, Aouille, Epicoun, Fenêtre
7 Trugberg, Kranzberg, Dreieckhorn	21 Triftji, Adler	35 Croissant, Sonadon
8 Rothorn, Schali	22 Brunegg (Turtmann Ost)	36 Portons
9 Schmal, Ross	23 Bocheresse	37 Guppen, Bächistock
10 Dard, Mauvais, Culand	24 Luette	38 Grauhorn, Casletto
11 Gspaltenhorn, Vorderer Blüemlis- alp, Öschinen, Fründen, Dolden- horn	25 Cheillon, Luette	39 Lenta, Grauhorn, Mucia
12 Augstkumme, Wysstal, Hohkraut, Mellig, Bottarello (I)	26 Valsorey, Boveyre	40 Schwarzhorn, Suretta-S
13 Kessjen, Fall, Bider	27 Dolent, Treutse, Bô, Darrey, Plane- reuses, Evole, Plines, Ravines	41 Corvatsch
14 Hohkraut, Trift, Weissmies, Laquin, Zibelenfluh	Rousses, Orny, Arpette, Petoudes Grands, Berons	42 Fluh, Dala, Löttschberg
15 Weingarten, Dürren	28 Taleggi, Gigli, Drosi, Kalchtal	FD Farbdiapositive
16 Anen, Lauibach, Augstkummen, Hangend	29 Biferten, Punteglias, Frisal	
	30 Prievlus, Boval, Mez, Palü, Fellaria (I)	



## 3. LÄNGENÄNDERUNG

### 3.1 EINLEITUNG

Die Ergebnisse der Beobachtungen am Netz der GK/SANW sind in Tabelle 3.1 für das erste, in Tabelle 3.2 für das zweite der beiden Berichtsjahre zusammengefasst. Die Kartenskizzen der Abbildungen 3.1b und 3.2b geben eine Übersicht der Einzelergebnisse, die in Tabelle 3.3 zusammengestellt und grossenteils durch besondere in Kapitel 3.4 zusammengefasste Bemerkungen der Beobachter kommentiert sind. In Abbildung 3.3 sind die Hauptergebnisse der 110 Berichtsjahre seit 1880 zusammenfassend dargestellt durch die jährlichen Angaben über a) die Zahl der klassierten und der für die Berechnung der mittleren Längenänderung berücksichtigten Gletscher, b) den Prozentanteil der wachsenden und der schwindenden Gletscher sowie c) den Wert der durchschnittlichen Längenänderung. Die Zahlengrundlagen dazu sind in Tabelle 35 des 99./100. Jahrbuchs [Kasser et al., 1986] für die Beobachtungsjahre 1879/80 bis 1978/79 veröffentlicht und in den folgenden Berichten (Nr. 101-110, 1979/80-1988/89) ergänzt.

Eine Übersicht über die Dauer des Längenwachstums bei den einzelnen am 1980er Vorstoss beteiligten Gletschern ist als Tabelle 3.4 angefügt.

Die jährlich wiederholten Messungen an zahlreichen Stellen auf verschiedenen Gletschern zeigen, dass während der letzten Vorstossperiode meistens und mehr oder weniger gleichzeitig (d.h. innerhalb von 2-3 Jahren) zwei Beschleunigungsphasen von mehrjähriger Dauer aufgetreten sind. In der ersten, meist weniger markanten von 1965 bis 1970 haben die Geschwindigkeiten um rund 10 %, in der zweiten, meist wesentlich stärker ausgeprägten von 1977 bis 1981 um 40-50 %, in einzelnen Fällen (z.B. **Corbassière** und **Giétro**) bis 75 % zugenommen. Seither hat sich die Bewegung durchwegs von Jahr zu Jahr mehr oder weniger regelmässig verlangsamt.

Im Jahr 1987/88 sind meistens ähnlich kleine Geschwindigkeiten gemessen worden wie die Minimalwerte vor oder zwischen den Beschleunigungsphasen.

Die Fliessgeschwindigkeit des Eises hat sich im Jahr 1988/89 wenig verändert. An den meisten Messpunkten war sie im Jahresdurchschnitt geringfügig grösser als im Vorjahr und in den Jahren vor oder zwischen den Perioden 1965-70 und 1977-81 mit wesentlich höheren Werten.

### 3.2 LÄNGENÄNDERUNG 1987/88

Verschiedene Anzeichen sprechen dafür, dass die jüngste Wachstums- und Vorstossperiode der Gletscher in den Schweizer Alpen mit dem Berichtsjahr zu Ende gegangen ist. Seit 1984 ist der Anteil der wachsenden Gletscher von Jahr zu Jahr geringer, der Anteil der schwindenden entsprechend grösser geworden. Im Berichtsjahr ist der Anteil der wachsenden auf rund 25 % gesunken, der Anteil der schwindenden auf rund 70 % gestiegen, d.h. auf Werte, die seit 1976 stets deutlich übertroffen bzw. unterschritten worden sind. Einzelne Gletscher, die während der letzten 2-3 Jahrzehnte dauernd vorrückten, sind 1988 erstmals wieder kürzer geworden (z.B. **Trient**, **oberer Grindelwald**, **Eiger**, **Kehlen**, **Tschierva**). Dabei hat sich - wie auch an weiteren Gletschern - die aufgewölbte Zungenstim abgeflacht und am Bachaustritt ein Gletschertor geöffnet. Im Gegensatz dazu sind mehrere grosse Gletscher trotz der starken Schmelzung vorgestossen. Dazu gehört neben anderen, die bisher nur in einem einzelnen Jahr vorgerückt waren oder erst seit wenigen Jahren vorstossen (z.B. **Oberaletsch**, **Zmutt**, **Ried**, **Zinal**, **unterer Grindelwald**, **Morteratsch**), auch der **Fiescher** als drittgrösster Alpengletscher.

Ein kurzer Rückblick auf die Vorstossperiode zwischen 1965 und 1988 zeigt, dass von den 120 Gletschern des Beobachtungsnetzes 108 (90 %) in mindestens einem Jahr einen Längenzuwachs erfahren haben (Tab. 3.4). In (fast) allen Jahren vorgestossen sind 4 Gletscher, deren Vorstoss mit einer Ausnahme (**Saleina**) vor 1965 begonnen hatte (**Fee** 1956, **Trient** 1958, **Cambrena** 1963). Unter den 12 Gletschern, die keinen Längenzuwachs aufweisen, befinden sich die beiden grössten Alpengletscher (**Grosser Aletsch**, **Gorner**) und weitere grosse, vorwiegend sehr flache Gletscher (z.B. **Otemma**, **Unteraar**, **Forno**), aber auch mittelgrosse flache bis mässig steile (z.B. **Cheillon**, **Lenta**, **Porchabella**, **Calderas**).

Bei der Interpretation der dargestellten Zeitreihe der Längenänderungen (Abb. 3.3) ist stets zu bedenken, dass diese Statistik auf den rein qualitativen Merkmalen "Zuwachs - keine Änderung - Schwund" beruht. Sie bringt die langfristige, seit der Mitte des letzten Jahrhunderts andauernde Schwundtendenz der Gletscher nur mittelbar zum Ausdruck. Zählt man jedoch die jährlich bestimmten Zahlenwerte zusammen, seien dies die Jahreswerte der einzelnen Gletscher oder der Jahresdurchschnitt der Stichprobe, zeigt sich in jedem Fall, dass der Längenzuwachs in der jüngsten Vorstossperiode die Längeneinbusse in der vorangehenden Schwundperiode nur teilweise ausgeglichen hat, bestenfalls zu rund zwei Dritteln (**Trient**), in den meisten Fällen weit weniger als zur Hälfte. Ähnliches gilt für die früheren Vorstösse, die um 1890 und 1920 stattgefunden haben. Wie jene hat der jüngste, eben zu Ende gegangene Vorstoss den langfristigen Gletscherschwund keineswegs beendet, sondern lediglich unterbrochen. Im Durchschnitt der letzten 100 Jahre sind die gemessenen Gletscher um rund 7.5 m/Jahr kürzer geworden. In den beiden letzten Jahren ist dieser Durchschnittswert nahezu wieder erreicht worden (Tab. 3.1), nachdem seit 1977 in den meisten Jahren ein durchschnittlicher Zuwachs, in den übrigen lediglich geringer Schwund zu verzeichnen war.

### 3.3 LÄNGENÄNDERUNG 1988/89

Die Zahlen der Tabelle 3.2 und die Kurven der Abbildung 3.3 zeigen klar, dass die Tendenz zum Gletscherschwund in den Schweizer Alpen im Berichtsjahr angedauert und etwa gleichermassen zugenommen hat wie in den vorangehenden Jahren. Der Anteil der wachsenden Gletscher ist unter einen Fünftel gesunken, der Anteil der schwindenden über drei Viertel gestiegen. Damit ist der Anteil der schwindenden bereits wieder grösser als der Anteil der wachsenden seit 1880 jemals war, da sowohl in der letzten Vorstossperiode (72 % im Jahr 1978) als auch in der vorletzten (70 % im Jahr 1919) stets weniger als drei Viertel der erfassten Gletscherzungen gleichzeitig vorrückten. Ähnliche Verhältniszahlen wie im Berichtsjahr sind nach 1964 einzig im Jahr 1971 verzeichnet worden (16 % wachsende, 79 % schwindende Gletscher), während die durchschnittliche Längenänderung in den Jahren 1965 (-12 m), 1971 (-10.6 m), 1973 (-10.0 m) und 1976 (-15.0 m) etwas stärkeren Schwund, in den übrigen Jahren jedoch stets deutlich schwächeren Schwund (meistens unter 5 m) oder geringen bis mässigen Zuwachs (am meisten 1978: 8.2 m) anzeigte. Aus den früheren Vergleichswerten geht hervor, dass der mittlere Längenschwund im Berichtsjahr geringer war als im Mittel und in den meisten Jahren der Periode von 1927 bis 1965, in der die Gletscherzungen durchschnittlich um 11.6 m pro Jahr kürzer wurden (am meisten 1947: 26.6 m).

Die verstärkte Schwundtendenz zeigt sich auch darin, dass ausser den im letzten Bericht genannten Gletschern im Berichtsjahr weitere Gletscher nach längerjährigem Vorstossen erstmals wieder zurückschmolzen oder stationär blieben (z.B. **Mutt**, **Allalin**, **Fee**, **Saleina**). Oder darin, dass einige der grossen Gletscher nach kurzfristigem Vorstossen erneut im Schwinden begriffen sind (z.B. **Fiescher**, **Zmutt**, **Ried**, **Morteratsch**) und ihren Längenzuwachs bereits wieder eingebüsst haben. In dieses Bild passt auch die Tatsache, dass im Gegensatz zum Vorjahr kein einziger Gletscher neu (d.h. erstmals nach 1965) vorzustossen begann. Somit gibt die Zusammenfassung in Tabelle 3.4 eine umfassende Übersicht über die am jüngsten Gletschervorstoss beteiligten Gletscher der Schweizer Alpen.



### 3. VARIATIONS DE LONGUEUR

#### 3.1 INTRODUCTION

*Les résultats des observations faites sur le réseau de la CG/SHSN sont résumés dans les tableaux 3.1 et 3.2 pour chacune des années du rapport. Ils sont présentés in extenso sur les figures 3.1b et 3.2b ainsi que dans le tableau 3.3. Pour la plupart des glaciers, le résultat est commenté par l'observateur dans une note explicative que l'on trouve dans le chapitre 3.4. La figure 3.3 montre les résultats principaux des observations s'étendant sur 100 ans, soit de 1879/80 jusqu'à 1988/89, par les données suivantes: a) nombre de glaciers observés et nombre de valeurs comprises dans la moyenne de la variation en longueur, b) pourcentages des glaciers en crue et des glaciers en décrue, c) variation moyenne en longueur. Les chiffres, sur lesquels se fonde cette figure, sont publiés dans le tableau 35 des 99<sup>e</sup>/100<sup>e</sup> rapports [Kasser et al., 1986] pour la série centenaire de 1879/80 à 1978/79 et dans les rapports suivants (nos. 101<sup>e</sup> à 110<sup>e</sup>, 1979/80-1988/89).*

*Une vue d'ensemble sur les glaciers impliqués dans la crue de ces dernières années est donné dans le tableau 3.4 en indiquant la durée de celle-ci.*

*Les relevés effectués une fois par année en de nombreux endroits de différents glaciers soulignent, durant la dernière période de crue, deux phases pluriannuelles d'accélération générale et plus ou moins simultanée (intervalles de 2 à 3 ans). Lors de la première, qui eut lieu entre 1965 et 1970 et fut assez peu marquée, les vitesses ont augmenté de 10 % environ; lors de la seconde, entre 1977 et 1981, elles se sont accrues de 40 à 50 %, voire jusqu'à 75 % dans certains cas (glaciers de Corbassière et de Giétro, par exemple). En suite, le mouvement glaciaire s'est constamment ralenti, de façon plus ou moins régulière. Durant l'exercice 1987/88 on a relevé presque partout des vitesses approchant les minima observés avant ou entre les phases d'accélération.*

*La vitesse d'écoulement de la glace ne s'est guère modifiée pendant l'exercice 1988/89. La plupart des points de mesure donnent une moyenne annuelle légèrement plus élevée que celles de l'année précédente et des périodes comprises entre les phases d'accélération de 1965-1970 et de 1977-1981.*

### 3.2 VARIATIONS DE LONGUEUR 1987/88

Plusieurs indices donnent à penser que la période de crue et d'avance des glaciers des Alpes suisses observée ces dernières décennies est parvenue à son terme. Depuis 1984, la proportion des glaciers en crue s'est amenuisée chaque année, au bénéfice des glaciers en décrue. Pendant l'exercice 1987/88, elle est tombée à 25 % environ, tandis que les glaciers en retrait représentent 70 % du total; depuis 1976, le premier de ces seuils était toujours nettement dépassé et le second jamais atteint. Quelques glaciers, constamment en un retrait pour la première fois en 1988 (glaciers du Trient, supérieur de Grindelwald, de l'Eiger, de Kehlen et de Tschierva, par exemple). Comme on l'a déjà observé pour d'autres glaciers, le front boursoufflé de leur langue s'est aplati et un portail glaciaire s'est ouvert à la sortie du torrent. Cependant, plusieurs grands glaciers ont progressé malgré l'ablation très intense de l'été 1988. C'est notamment le cas du glacier de Fiesch, le troisième des Alpes par ses dimensions, ainsi que d'autres qui ne s'étaient retirés que pendant une année ou ne progressent que depuis quelques années (glaciers supérieur d'Aletsch, de Zmutt, de Ried, de Zinal, inférieur de Grindelwald et de Morteratsch, par exemple).

Un bref examen de la période de crue 1965-1988 montre que, sur les 120 glaciers du réseau d'observation, 108 (90 %) ont avancé pendant une année au moins (tabl. 3.4). Quatre glaciers ont progressé presque chaque année de cette période, leur crue ayant débuté, à une exception près (glacier de Saleina), avant 1965 (1956 pour le glacier de Fee, 1958 pour celui du Trient et 1963 pour celui de Cambrena). Nous trouvons, parmi les 12 glaciers qui n'ont pas vu leur longueur augmenter, les deux plus grands des Alpes (Grand glacier d'Aletsch et glacier du Gorner), ainsi que d'autres, étendus et presque plats (glaciers d'Otemma, inférieur de l'Aar et de Forno, par exemple), ou plus petits et présentant une déclivité faible à moyenne (glaciers de Cheillon, de Lenta, de Porchabella et de Calderas, par exemple).

L'interprétation de la série chronologique des variations de longueur (fig. 3.3) doit tenir compte du fait qu'elle repose uniquement sur les critères suivants: crue, état stationnaire, décrue (par rapport à l'année précédente). Elle ne montre qu'indirectement le retrait glaciaire constant depuis le milieu du siècle dernier. Si l'on additionne les chiffres de chaque année, que ce soient les valeurs propres à chaque glacier ou la moyenne annuelle de l'échantillon, on voit que les allongements survenus durant la dernière phase de crue n'ont que partiellement compensé les retraits de la période de décrue précédente: à raison de deux tiers environ dans le cas le plus favorable (glacier de Trient), et de nettement moins de la moitié dans la majorité des cas. Il en est de même pour les crues précédentes survenues vers 1890 et vers 1920. Comme celles-ci, la dernière phase d'avance glaciaire, qui vient de se terminer, n'a pas du tout mis un terme au retrait durable des glaciers, mais l'a seulement interrompu. Pendant ces 100 dernières années, les glaciers mesurés ont subi une décrue moyenne de 7.5 m par année. Cette valeur a été, à nouveau, presque égalée pendant les deux derniers exercices 1986/87 et 1987/88 (tab. 3.1), après qu'on eut observé depuis 1977 un accroissement moyen, ou un très faible retrait ne portant que sur quelques années.

### 3.3 VARIATIONS DE LONGUEUR 1988/89

*Les données chiffrées du tableau 1 et les courbes de la figure 4 donnent à penser que la tendance au retrait des glaciers des Alpes suisses s'est poursuivie et a augmenté de la même manière que ces dernières années. La proportion des glaciers en crue est tombée au-dessous de 20 %, tandis que les glaciers en retrait représentent plus de 75 % du total. Ce dernier pourcentage constitue une valeur jamais atteinte, depuis 1880, par les glaciers en crue, ni lors de la dernière phase de progression (72 % en 1978), ni lors de la précédente (70 % en 1919). Depuis 1964, seule l'année 1971 affiche un rapport entre les glaciers en crue et les glaciers en décrue analogue à celui de cet exercice (16 et 79 % respectivement). Quant à la variation moyenne de la longueur des glaciers pour cette même période, elle présente les valeurs suivantes: fortes décrues en 1965 (-12.0 m), en 1971 (-10.6 m), en 1973 (-10.0 m) et en 1976 (-15.0 m); retraits nettement plus faibles (moins de 5 m en général) ou progression minime à modérée (maximum de 8.2 m en 1978) pendant les autres années. Entre 1927 et 1965, en revanche, les langues glaciaires se sont retirées de 11.6 m par an en moyenne (maximum de 26.6 m en 1947), valeur bien supérieure à celle de l'exercice 1988/89 (9.1 m).*

*En complément de ceux déjà cités dans le dernier rapport, d'autres glaciers se sont arrêtés ou ont commencé à régresser au cours de cet exercice, après une crue pluriannuelle (glaciers de Mutt, de l'Allalin, de Fee et de Saleina, par exemple), confirmant ainsi le retrait général. En outre, quelques grands glaciers se sont remis à décroître après une courte séquence de crue, et ont déjà annulé leur avance (glaciers de Fiesch, de Zmutt, de Ried, de Morteratsch, par exemple). Contrairement à l'année précédente, aucun glacier n'a entamé une nouvelle période de progression (date de référence: 1965), ce qui corrobore la décrue déjà mentionnée. Le tableau 3.4 livre donc une vue d'ensemble sur les glaciers des Alpes suisses impliqués dans la crue glaciaire de ces dernières années.*

Tabelle 3.1: Längenänderung 1987/88 - Zusammenfassungen

a) Einzugsgebiete

Gebiet	Netz 1)	Stichprobe 2)	Anzahl Gletscher		
			wachsend <sup>3)</sup>	Klassen stationär <sup>4)</sup>	schwindend <sup>5)</sup>
Rhone (II)	52	49	17	3	29
Aare (Ia)	21	18	4	1	13
Reuss (Ib)	11	8	2	1	5
Linth/Limmat (Ic)	6	6	0	1	5
Rhein/ Bodensee (Id)	11	9	0	0	9
Inn (V)	7	7	2	0	5
Adda (IV)	5	4	0	0	4
Tessin (III)	7	6	2	0	4
Total	120	107	27	6	74

b) Gebirgsregionen

Gebiet	Netz n <sup>1)</sup>	Anzahl Gletscher n und Prozentanteil p der Klassen Stichprobe (p = 100%) n <sup>2)</sup>	Klassen					
			wachsend		stationär		schwindend	
			n <sup>3)</sup>	p [%]	n <sup>4)</sup>	p [%]	n <sup>5)</sup>	p [%]
Nördliche Hauptkette	56	48	11	22.9	3	6.3	34	70.8
- Nordseite (extern)	42	45	8		3		24	
- Südseite (intern)	14	13	3		0		10	
Südliche Hauptkette	64	59	16	27.1	3	5.1	40	67.8
- Nordseite (intern)	52	49	14		3		32	
- Südseite (extern)	12	10	2		0		8	
Externe Gebiete	54	45	10	22.2	3	6.7	32	71.1
Interne Gebiete	66	62	17	27.4	3	4.8	42	67.8
Total	120	107	27	25.2	6	5.6	74	69.2
Mittlere Längenänderung		89 <sup>6)</sup>						- 5.1 Meter / Gletscher

- Nachstehend sind die Gletscher mit ihrer Nummer (1-120) aus Tab. 3.3 aufgezählt. Ihre Zuordnung zu den Einzugsgebieten (I-V) ist in Tab. 3.3 und in Abb. 3.1a ersichtlich. Die Grenze zwischen den Hauptketten folgt den Tälern oder Pässen: Col de Balme - Rhone - Furka - Urseren - Oberalp - Vorderrhein - Schanfigg - Flüela - unteres Inntal.
- Nicht beobachtet: 23, 33, 46, 71, 72, 74, 82, 110, 112, 113, 115, 116; ohne Ergebnis: 118.
- Wachsende Gletscher: 2, 4, 11, 13, 15, 17-19, 22, 25, 28, 30, 41, 42, 45, 49, 53, 55, 58, 70, 73, 94, 96, 104, 105, 108, 109.
- Stationäre Gletscher: 10, 20, 38, 56, 69, 78.
- Schwindende Gletscher: 1, 3, 5-9, 12, 14, 16, 21, 24, 26, 27, 29, 31, 32, 34-37, 39, 40, 43, 44, 47, 48, 50-52, 54, 57, 59-68, 75-77, 79-81, 83-93, 95, 97-103, 106, 107, 111, 114, 117, 119, 120.
- Im Mittelwert ist das Ergebnis von 18 Gletschern nicht berücksichtigt aus folgenden Gründen:
  - Beeinflussung durch künstlichen See: 3, 50;
  - Wert für mehrere Jahre: 34, 36, 75, 99, 100, 102, 103;
  - keine Zahlenangabe: 29, 30, 49, 55, 58, 106-108, 114.

Tableau 3.2: Variations de longueur 1988/89 - Récapitulations

## a) Bassins versants

Région	Réseau 1)	Echantillon 2)	Nombre de glaciers		
			en crue <sup>3)</sup>	Classes stationnaires <sup>4)</sup>	en décrue <sup>5)</sup>
Rhône (II)	52	48	10	2	36
Aare (Ia)	21	18	4	1	13
Reuss (Ib)	11	8	1	0	7
Linth/Limmat (Ic)	6	5	1	0	4
Rhin/ Bodan (Id)	11	9	0	0	9
Inn (V)	7	7	2	0	5
Adda (IV)	5	3	0	0	3
Tessin (III)	7	7	1	0	6
Total	120	105	19	3	83

## b) Régions orographiques

Région	Réseau n 1)	Nombre de glaciers n et part relative p des classes Echantillon (p = 100%) n 2)	Classes					
			en crue n 3) p [%]		stationnaires n 4) p [%]		en décrue n 5) p [%]	
Chaînes septentrionales	56	47	8	17.0	1	2.1	38	80.9
-versant nord (externe)	42	34	6		1		27	
-versant sud (interne)	14	13	2		0		11	
Chaînes méridionales	64	58	11	19.0	2	3.4	45	77.6
-versant nord (interne)	52	48	10		2		36	
-versant sud (externe)	12	10	1		0		9	
Régions externes	54	44	7	15.9	1	2.3	36	81.8
Régions internes	66	61	12	19.7	2	3.3	47	77.0
Total	120	105	19	18.1	3	2.8	83	79.1
Variation moyenne de longueur		85 <sup>6)</sup>	- 9.1 mètres / glacier					

1 Ci-après, les glaciers sont cités par leur numéro (1-120) du tabl. 3.3. Leur répartition sur les bassins versants (I-V) est indiquée dans le tabl. 3.3 et dans la fig. 3.2a. La limite entre les chaînes principales suit les vallées ou cols suivants: Col de Balme - Rhône - Furka - Urseren - Oberalp - Rhin antérieur - Schanfigg - Flüela - vallée basse de l'Inn.

2 Glaciers non observés: 22, 23, 32, 46, 52, 72, 75, 76, 81, 85, 100, 115, 116; sans résultat: 112, 113.

3 Glaciers en crue: 7, 10, 18, 20, 25, 26, 28, 30, 38, 41, 53, 58, 61, 70, 78, 96, 98, 105, 110.

4 Glaciers stationnaires: 42, 60, 108.

5 Glaciers en décrue: 1-6, 8, 9, 11-17, 19, 21, 24, 27, 29, 31, 33-37, 39, 40, 43-45, 47-51, 54-57, 59, 62-69, 71, 73, 74, 77, 79, 80, 82-84, 86-95, 97, 99, 101-104, 106, 107, 109, 111, 114, 117-120.

6 Dans la valeur moyenne, les résultats de 20 glaciers ne sont pas compris pour les raisons suivantes:

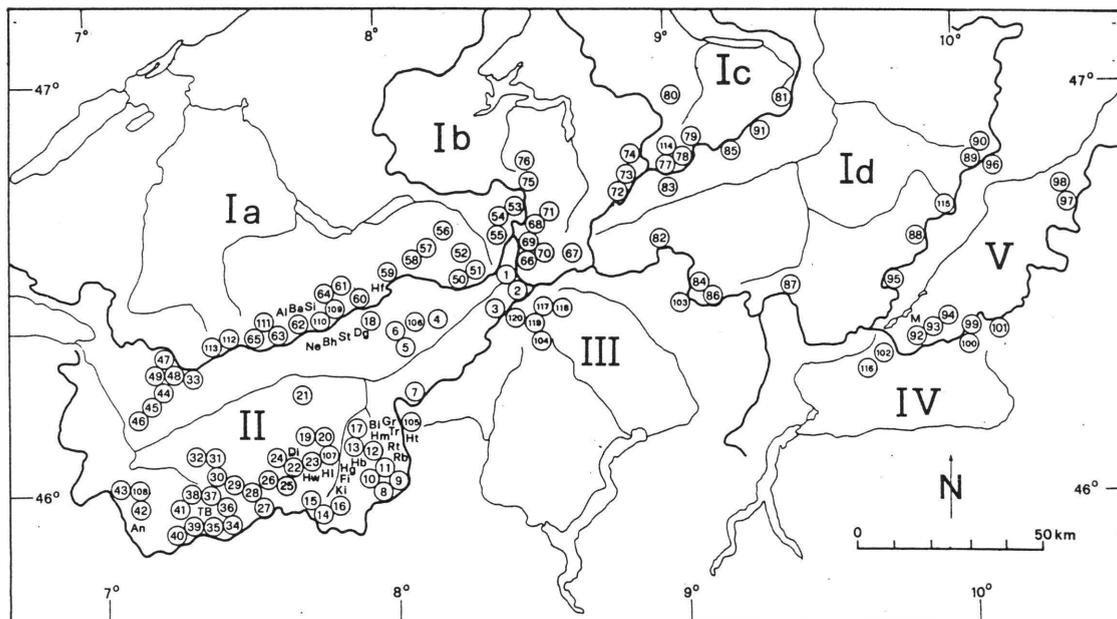
- influence d'un lac artificiel: 3, 50;

- valeur valable pour plusieurs années: 14, 29, 30, 33, 71, 74, 78, 82, 118;

- valeur non chiffrée: 49, 55, 56, 58, 106-108, 110, 114.

Abbildung 3.1: Gletscherbeobachtungsnetz 1988

a) Beobachtungen 1988



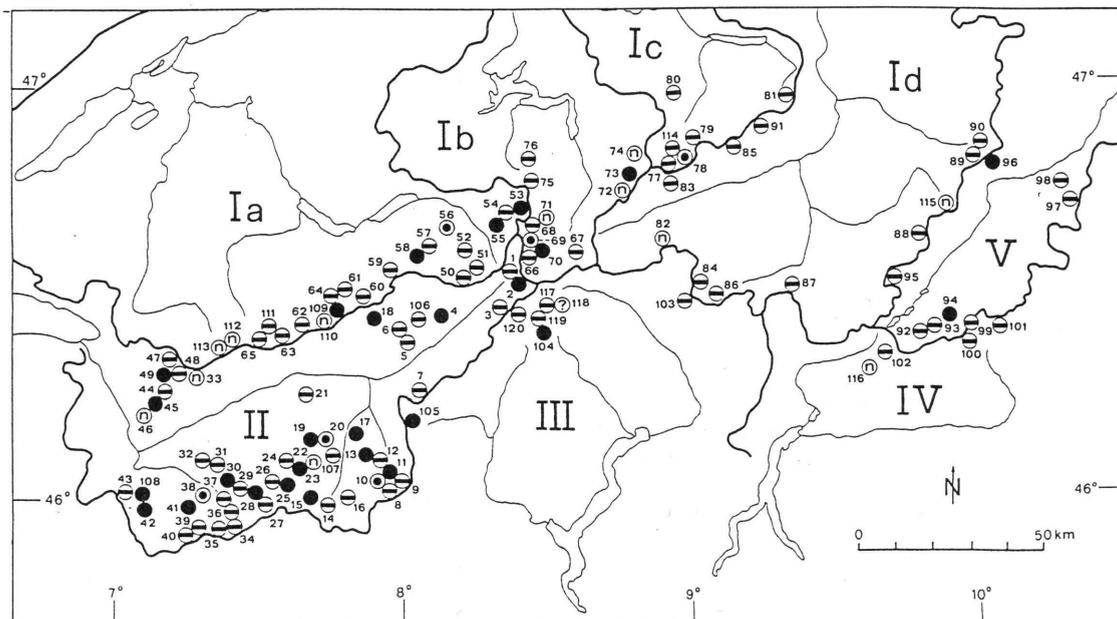
Legende:

1-120: Beobachtungsnetz (Tab. 3.1+3.3)

Al-VR: andere Gletscher (Tab. 2.1)

I-V: Einzugsgebiete (Tab. 3.3)

b) Längenänderungen 1988



Legende:

● Vorstoss

○ stationär

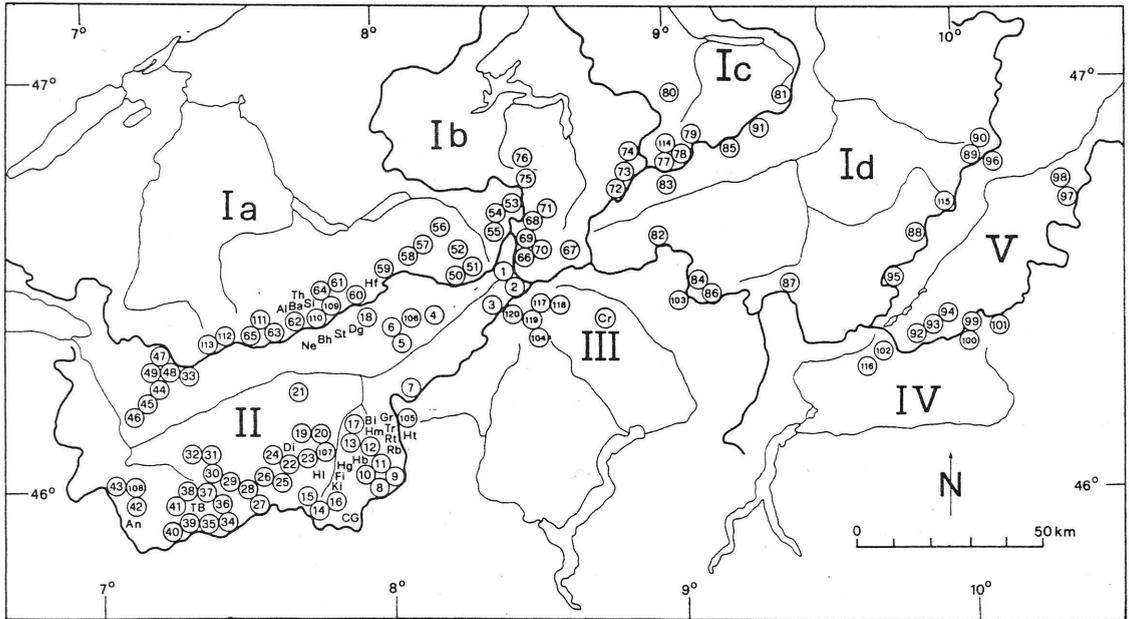
⊖ Rückzug

⊕ unbestimmt (eingeschneit)

⊞ nicht beobachtet

Figure 3.2: Réseau d'observations glaciaires 1989

a) Observations 1989



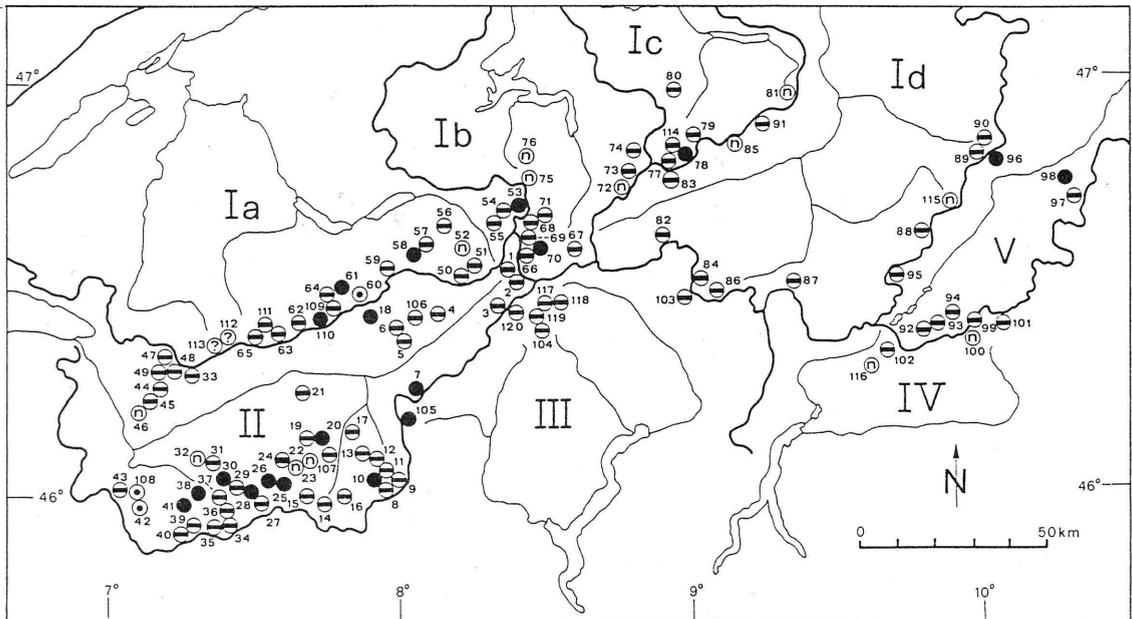
Légende:

1-120: Réseau d'observations (tabl. 3.2+3.3)

Al-VU: autres glaciers (tabl. 2.1)

I-V: bassins versants (tabl. 3.3)

b) Variations de longueur 1989



Légende:

● avance

⊖ stationnaire

⊖ décrue

⊙ indéfini (sous la neige)

⊖ non observé

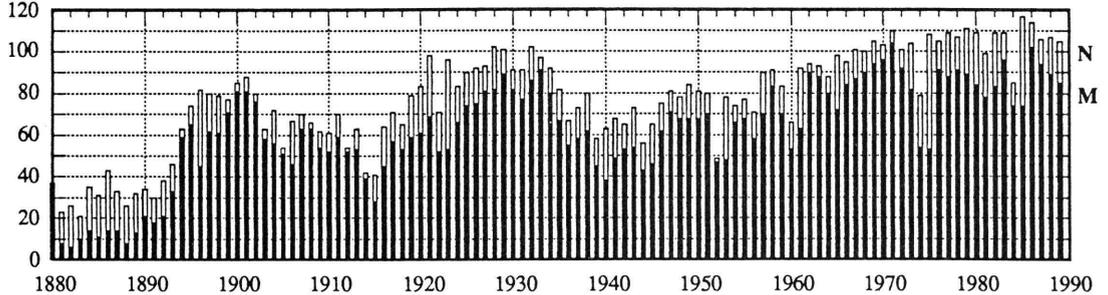
Abbildung 3.3: Längenänderung - Statistik 1880-1989

Figure 3.3: Variations de longueur - Statistique 1880-1989

a) Stichproben - Echantillons

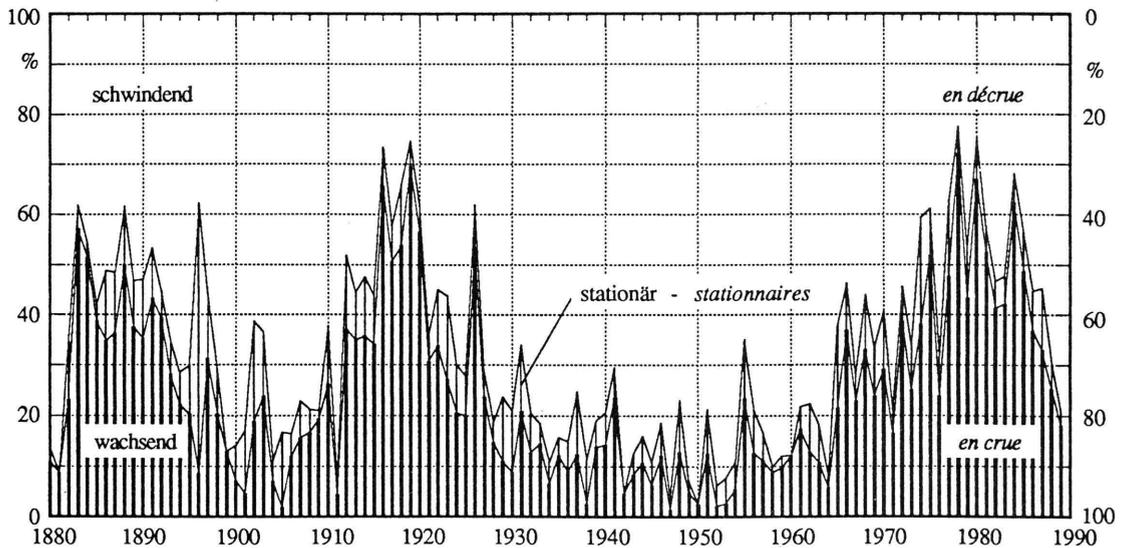
N = Anzahl klassierte Gletscher (Abb. 3.3b) - Nombre de glaciers classés (fig. 3.3b)

M = Anzahl gemittelte Werte (Abb. 3.3c) - Nombre de valeurs comprises dans la moyenne (fig. 3.3c)



b) Anteile der wachsenden, stationären und schwindenden Gletscher

Parts relatives des glaciers en crue, stationnaires ou en décroie



c) Mittlere Längenänderung - Variation moyenne de longueur

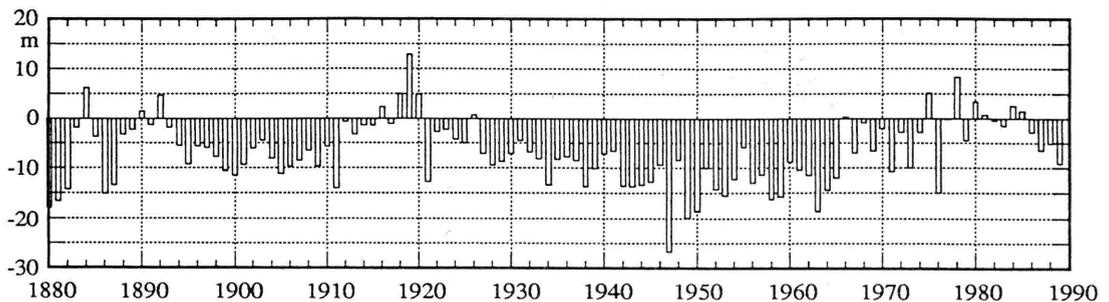


Tabelle 3.3: Längenänderung 1987/88 und 1988/89

Tableau 3.3: Variations de longueur 1987/88 et 1988/89

Nr. a)	Gletscher	Kt. b)	Längenänderung c)		Höhe d) [m ü.M.]	Messdatum [Tag, Monat]		
			1987/88	1988/89		1987	1988	1989
<b>Einzugsgebiet der Rhone - Bassin du Rhône (II)</b>								
1 <sup>e</sup>	Rhone	VS	- 19	- 5	2123	19. 8.	16. 9.	30. 8.
2 <sup>e</sup>	Mutt	VS	+ 1.9	- 1.9	2582	19. 8.	17. 9.	30. 8.
3 <sup>e</sup>	Gries (Aegina)	VS	- 5	- 11	2382.6	1.10.	21. 9.	20. 9.
4 <sup>e</sup>	Fiescher	VS	+16.6	- 16.8	1666.3	5. 9.	31. 8.	9. 9.
5 <sup>e</sup>	Grosser Aletsch	VS	- 12.3	- 13.8	1548.5	31.10.	5.11.	2.12.
106 <sup>e</sup>	Mittelaletsch	VS	- x	- x	2253.0 <sup>86</sup>	7. 9.	5. 8.	8. 9.
6 <sup>e</sup>	Oberaletsch	VS	- 5.6	- 39.0	2145.1	1.11.	6.11.	1.12.
7 <sup>e</sup>	Kaltwasser	VS	- 3.8	+ 1.7	2660	30. 9.	8. 9.	29.10.
8	Tälliboden	VS	- 16.4	- 12.2	2630.7	29. 9.	29. 9.	4.10.
9	Ofental	VS	-197.2	- 18.1	2671.2	29. 9.	28. 9.	4.10.
10	Schwarzberg	VS	0	+ 5.6	2649.0	29. 9.	1.10.	3.10.
11 <sup>e</sup>	Allalin	VS	+21.7	- 49.1	2214.4	29. 9.	17.11.	23.10.
12	Kessjen	VS	- 7.4	- 5.1	2868.0	30. 9.	5.10.	2.10.
13	Fee (Nord)	VS	+86.7	- 51.0	1932	4.11.	8.11.	31.10.
14 <sup>e</sup>	Gomer	VS	- 19	- 24.8 <sup>2a</sup>	2083 <sup>87</sup>	3.11.	9.10.	2.11.
15 <sup>e</sup>	Zmutt	VS	+10	- 2.4	2242	18. 8.	15. 9.	29. 8.
16 <sup>e</sup>	Findelen	VS	- 15.2 <sup>2a</sup>	- 45.2	2483.9 <sup>88</sup>	1.10.	12.11.	27.10.
107 <sup>e</sup>	Bis	VS	- x	- x	-	1.10.	22. 9.	22. 9.
17 <sup>e</sup>	Ried	VS	+ 4.6	- 15.8	2058.3	28. 9.	30. 9.	5.10.
18 <sup>e</sup>	Lang	VS	+31	+ 13	2023	1.10.	2.11.	23.10.
19 <sup>e</sup>	Turtmann (West)	VS	+ 1.7	- 6.5	2261	7.10.	13.10.	13. 9.
20 <sup>e</sup>	Brunegg (Turtmann-Ost)	VS	+ 0.4	+ 2.7	2452	7.10.	13.10.	13. 9.
21 <sup>e</sup>	Bella Tola	VS	- 8.2	- 37.5	-	17. 9.	23. 9.	6.10.
22	Zinal	VS	+ 3.7	n	2030 <sup>88</sup>	3.10.	20. 9.	n
23	Moming	VS	n	n	-	3.10.	n	n
24	Moiry	VS	- 7.2	- 1.4	2390 <sup>83</sup>	19.10.	29.10.	28.10.
25	Ferpècle	VS	+ 5.6	+ 3.1	2095 <sup>83</sup>	27. 9.	15.10.	14.10.
26	Mont Miné	VS	- 8.0	+ 13	1963 <sup>83</sup>	27. 9.	15.10.	14.10.
27	Arolla (M. Collon)	VS	- 3.0	- 6	2135 <sup>83</sup>	27. 9.	15.10.	14.10.
28	Tsidjiore Nouve	VS	+ 7.0	+ 5	2205 <sup>83</sup>	27. 9.	15.10.	14.10.
29 <sup>e</sup>	Cheillon	VS	- x <sup>5a</sup>	- 6.4 <sup>2a</sup>	2630 <sup>83</sup>	4.10.	9. 8.	5.10.
30 <sup>e</sup>	En Darrey	VS	+ x <sup>5a</sup>	+ 7 <sup>2a</sup>	2490 <sup>83</sup>	3.10.	9. 8.	4.10.
31 <sup>e</sup>	Grand Désert	VS	- 9.8	- 13.2	2755 <sup>83</sup>	1.11.	24. 9.	1.10.
32	Mont Fort (Tortin)	VS	- 11.7	n	2695 <sup>83</sup>	1.11.	8.10.	n
33 <sup>e</sup>	Tsanfleuron	VS	- n	- 21.5 <sup>2a</sup>	2417 <sup>69</sup>	19.10.	n	20.10.
34 <sup>e</sup>	Otemma	VS	- 49.7 <sup>2a</sup>	- 25	2460	19.10.	21. 9.	20. 9.
35 <sup>e</sup>	Mont Durand	VS	- 28	- 24	2360	19.10.	22. 9.	21. 9.
36 <sup>e</sup>	Breney	VS	- 10.2 <sup>2a</sup>	- 7.5	2575 <sup>82</sup>	19.10.	21. 9.	20. 9.
37 <sup>e</sup>	Giétro	VS	- 1.6	- 18.4	2480 ca.	29. 9.	22. 9.	25.10.
38 <sup>e</sup>	Corbassière	VS	0	+ 7	2169	12. 9.	12. 9.	16. 9.

a-e Bemerkungen zu den Fussnoten und Legende der Abkürzungen siehe Seite 58  
*Remarques ou notes explicatives et légende des abréviations voir page 58.*

Tabelle 3.3: Fortsetzung 1

Tableau 3.3: Continuation 1

No. <sup>a)</sup>	Glacier	Ct. <sup>b)</sup>	Variation de longueur <sup>c)</sup>		Altitude <sup>d)</sup> [m s.m.] 1989	Date des mesures [jour, mois]		
			1987/88	1988/89		1987	1988	1989
39	Valsorey	VS	- 1.0	- 10	2395	9.10.	18.10.	4.10.
40	Tscudet	VS	- 1.0	- 5	2423	9.10.	18.10.	4.10.
41	Boveyre	VS	+ 4.0	+ 1	2595	9.10.	18.10.	4.10.
42	Saleina	VS	+ 5.0	0	1695.5	20.10.	14.10.	13.10.
108 <sup>e)</sup>	Orny	VS	+ x <sup>6a</sup>	st	-	n	27. 9.	25.10.
43 <sup>e)</sup>	Trient	VS	- 10	- 5.0	1752	14. 8.	16.10.	25.10.
44 <sup>e)</sup>	Paneyrosse	VD	- 3.6	- 7.0	-	20.10.	26. 9.	2.10.
45 <sup>e)</sup>	Grand Plan Névé	VD	+15.6	- 17.4	-	19. 9.	27. 9.	26. 9.
46	Martinet	VD	n	n	-	n	n	n
47 <sup>e)</sup>	Sex Rouge	VD	- 8.4	- 14.4	-	18.10.	27.10.	24. 8.
48 <sup>e)</sup>	Prapio	VD	- 12 ca.	- 8.0	-	25.10.	30.10.	11.10.
49 <sup>e)</sup>	Pierredar	VD	+ x	- x	-	11. 9.	5. 8.	8. 9.
<b>Einzugsgebiet der Aare - Bassin de l'Aar (Ia)</b>								
50 <sup>e)</sup>	Oberaar	BE	- 21.4	- 4.7	2302	29. 8.	21. 9.	15. 8.
51 <sup>e)</sup>	Unteraar	BE	- 10.0	- 16.7	1914	29. 8.	21. 9.	15. 8.
52 <sup>e)</sup>	Gauli	BE	- 6	n	-	25.10.	29. 9.	n
53 <sup>e)</sup>	Stein	BE	+ 5.5	+ 3	1934	27. 9.	21. 9.	18. 9.
54 <sup>e)</sup>	Steinlimmi	BE	- 2	- 8	2092	27. 9.	21. 9.	18. 9.
55 <sup>e)</sup>	Trift (Gadmen)	BE	+ x	- x	1670 <sup>80</sup>	7. 9.	5. 8.	20. 9.
56 <sup>e)</sup>	Rosenlauri	BE	st	- x	1860 ca.	10. 9.	5. 8.	24. 8.
57	Oberer Grindelwald	BE	- 2	- 20	1250 ca.	12.11.	29.10.	11.10.
58 <sup>e)</sup>	Unterer Grindelwald	BE	+ x	+ x	-	28.10.	26.10.	11.10.
59 <sup>e)</sup>	Eiger	BE	- 10.7	- 15.3	2115	17. 9.	20. 9.	21. 9.
60 <sup>e)</sup>	Tschingel	BE	- 1.5	+ 0.4	2265	18. 9.	27. 9.	22. 9.
61	Gamchi	BE	- 3.5	+ 4.5	1990	5.10.	28. 9.	26. 9.
109 <sup>e)</sup>	Alpelli (Kanderfirn)	BE	+ 4.4	- 2.0	2250	19. 9.	21. 9.	21. 9.
110 <sup>e)</sup>	Lötschberg	BE	n	x <sup>3a</sup>	-	n	n	6.12.
62 <sup>e)</sup>	Schwarz	VS	- 7.5	- 13.0	2210 ca.	22. 9.	27. 9.	15. 9.
63 <sup>e)</sup>	Lämmern	VS	- 4.7	- 6.3	2520 <sup>88</sup>	23. 9.	28. 9.	14. 9.
64	Blümlisalp	BE	- 2.3	- 12.7	2200	12. 9.	20. 9.	22. 9.
111 <sup>e)</sup>	Ammerten	BE	- 1.9	- 20.8	2345 ca.	11.10.	17.10.	15.10.
65 <sup>e)</sup>	Rätzli	BE	- 34	- 29.5	2410	20.10.	31.10.	5.10.
112	Dungel	BE	n	sn	2465 <sup>85</sup>	n	n	18.11.
113	Gelten	BE	n	sn	2295 <sup>69</sup>	n	n	19.11.
<b>Einzugsgebiet der Reuss - Bassin de la Reuss (Ib)</b>								
66 <sup>e)</sup>	Tiefen	UR	- 6.4	- 9.9	2500 <sup>88</sup>	25. 9.	28. 9.	27. 9.
67 <sup>e)</sup>	Sankt Anna	UR	- 1.9	- 2.8	2565 <sup>75</sup>	25. 9.	21. 9.	28. 9.
68 <sup>e)</sup>	Kehlen	UR	- 2.0	- 1.2	2078	22. 9.	21. 9.	20. 9.
69 <sup>e)</sup>	Rotfirn (Nord)	UR	- 0.8	- 6.2	2031	22. 9.	21. 9.	20. 9.
70 <sup>e)</sup>	Damma	UR	+ 5.9	+ 8.4	2044 <sup>64</sup>	26. 9.	21. 9.	20. 9.
71 <sup>e)</sup>	Wallenbur	UR	n	- 2.0 <sup>2a</sup>	2235	5.10.	n	6.10.
72	Brunni	UR	n	n	-	n	n	n
73 <sup>e)</sup>	Hüfi	UR	+24.5	- 21.0	1640	20.10.	22. 9.	24.10.
74 <sup>e)</sup>	Griess (Unterschächen)	UR	n	- 14.0 <sup>2a</sup>	2218	1.10.	n	2.10.
75 <sup>e)</sup>	Firmalpe	OW	- 10.0 <sup>2a</sup>	n	2160 <sup>86</sup>	31. 8.	3.10.	n
76 <sup>e)</sup>	Griessen (Obwalden)	OW	- 1.5	n	2550 <sup>87</sup>	18.10.	5.10.	n

Tabelle 3.3: Fortsetzung 2

Tableau 3.3: Continuation 2

Nr. a)	Gletscher	Kt. b)	Längenänderung c)		Höhe d) [m ü.M.]	Messdatum		
			1987/88	1988/89		[Tag, Monat]	1987	1988
<b>Einzugsgebiet der Linth/Limmat - Bassin de la Linth/Limmat (Ic)</b>								
77 e	Biferten	GL	- 1.0	- 9.5	1901.0	28./29.9.	3.10.	2.10.
78 e	Limmern	GL	st	+ 4.8 <sup>2a</sup>	-	14. 9.	28. 9.	27.10.
114 e	Plattalva	GL	- x	- x	-	14. 9.	28. 9.	25. 8.
79 e	Sulz	GL	- 3.2	- 4.4	1790	6.11.	29.10.	5.10.
80 e	Glämisch	GL	- 4.0	- 3.2	2295.1	20. 8.	15.10.	21. 8.
81 e	Pizol	SG	- 16.7	n	2600 <sup>87</sup>	22. 9.	5.10.	n
<b>Einzugsgebiet des Rheins/Bodensee - Bassin du Rhin/Bodan (Id)</b>								
82	Lavaz	GR	n	-91 <sup>2a</sup>	2285	8. 9.	n	4.10.
83 e	Punteglias	GR	- 23	- 9	2355	23.10.	27.10.	23.10.
84 e	Lenta	GR	- 11.2	- 6.5	2310	2.10.	24.10.	6.10.
85 e	Vorab	GR	- 13.4	n	-	21. 9.	21. 9.	n
86 e	Paradies	GR	- 20.6	- 21.3	2402	10. 9.	26. 9.	8. 9.
87 e	Suretta	GR	- 33.2	- 16.1	2214.8	16. 9.	11. 9.	15. 9.
115	Scaletta	GR	n	n	-	n	n	n
88 e	Porchabella	GR	- 7.2	- 4.1	2639.1	21.10.	17.10.	15. 9.
89 e	Verstankla	GR	- 5.5	- 1	2390	3. 9.	1. 9.	26. 8.
90 e	Silvretta	GR	- 7.8	- 8.6	2437.1	17. 9.	27. 9.	20. 9.
91 e	Sardona	SG	- 5.4	- 14.7	2500	18. 9.	27. 9.	25. 9.
<b>Einzugsgebiet des Inns - Bassin de l'Inn (V)</b>								
92 e	Roseg	GR	- 9.2	- 11	2159	4.10.	18.10.	28. 9.
93 e	Tschierva	GR	- 20.8	- 5	2141	4.10.	18.10.	28. 9.
94 e	Morteratsch	GR	+ 2.4	- 7	2030	6.10.	16.10.	1.11.
95 e	Calderas	GR	- 10.1	- 8.3	2725	4.10.	17.10.	18.10.
96 e	Tiatscha	GR	+ 4	+ 1	2500	17.10.	2.10.	4.10.
97 e	Sesvenna	GR	- 5.7	- 1.9	2750	18. 9.	25. 9.	23. 9.
98 e	Lischana	GR	- 6.2	+ 8.6	2745	29. 9.	29. 9.	30. 9.
<b>Einzugsgebiet der Adda - Bassin de l'Adda (IV)</b>								
99 e	Cambrena	GR	- 14.5 <sup>2a</sup>	- 12	2520 ca.	1.11.	1.10.	14.10.
100 e	Palü	GR	- 6.8 <sup>2a</sup>	n	2350 <sup>85</sup>	n	18.11.	n
101 e	Paradisino (Campo)	GR	- 12	- 1.2	2825 <sup>88</sup>	27. 9.	9.10.	16. 9.
102 e	Forno	GR	- 55.8 <sup>2a</sup>	- 12.7	2240	n	26.10.	5.10.
116	Albigna	GR	n	n	2163 <sup>85</sup>	n	n	n
<b>Einzugsgebiet des Tessins - Bassin du Tessin (III)</b>								
120 e	Como	TI	- 1.5	- 5.2	2570	15. 9.	6. 9.	12. 9.
117 e	Valleggia	TI	- 3.4	- 3.7	2420	16. 9.	28. 9.	15. 9.
118 e	Val Torta	TI	sn	- 37.6 <sup>2a</sup>	2530	16. 9.	28. 9.	15. 9.
103 e	Bresciana	TI	- 18.8 <sup>2a</sup>	- 3.4	2720	n	29. 9.	19. 9.
119 e	Cavagnoli	TI	- 15.4	- 10.5	2560	24. 9.	21. 9.	26. 9.
104 e	Basodino	TI	+ 3.0	- 4.9	2520	24. 9.	20. 9.	25. 9.
105 e	Rosboden	VS	+ 16.0	+ 3.1	1950	19.10.	6.10.	12. 9.

Tabelle 3.3: Legende und Bemerkungen

Tableau 3.3: Légende et remarques

<b>Abkürzungen</b>		<b>Abréviations</b>	
n	nicht beobachtet	n	<i>non observé</i>
sn	eingeschneit	sn	<i>sous la neige</i>
+	im Vorstoss	+	<i>en crue</i>
st	stationär	st	<i>stationnaire</i>
-	im Rückzug	-	<i>en décrue</i>
ca.	ungefährer Wert	ca.	<i>valeur approximative</i>
x	Betrag nicht bestimmt	x	<i>valeur non déterminée</i>

**Bemerkungen zu allen oder mehreren Gletschern - Remarques concernant plusieurs ou tous les glaciers**

- a Identifikationsnummer der Gletscher im Beobachtungsnetz der GK/SANW (vgl. Tab. 2.1, 3.1 und 3.2 wie auch Abb. 3.1 und 3.2).  
*Numéro d'identification des glaciers du réseau d'observation de la CGIASSN (cf. tabl. 2.1, 3.1 et 3.2 ainsi que fig. 3.1 et 3.2).*
- b Liegt ein Gletscher auf dem Gebiet mehr als eines Kantons, ist der Kanton angegeben, in dem sich das beobachtete Zungenende befindet. Für die Zuteilung zu den Flussgebieten (I-V) sind die oberirdischen Wasserscheiden berücksichtigt.  
*Si un glacier s'étend sur le territoire de plusieurs cantons, on a mentionné le canton dans lequel se trouve la langue terminale observée. Les bassins versants (I-V) sont définis par les partages superficiels des eaux.*
- c Gilt die Angabe für eine mehrjährige Zeitspanne, ist die Zahl der Jahre folgenderweise angezeigt: + 87<sup>4a</sup> = Vorstoss um 87 Meter in 4 Jahren.  
*Si la valeur indiquée est valable pour un intervalle de plusieurs années, le nombre d'années est indiqué comme il suit: + 87<sup>4a</sup> = avance de 87 mètres en 4 ans.*
- d Ist die verzeichnete Höhenkote des Gletscherendes oder des Gletschertors nicht im Jahr 1989 gemessen, ist das Jahr der Messung folgenderweise angegeben: 2326.2<sup>80</sup> = Meereshöhe 2326.2 m, bestimmt im Jahr 1980.  
*Si l'altitude indiquée de la langue terminale ou du portail glaciaire n'a pas été déterminée en 1989, l'année de la mesure est indiquée comme il suit: 2326.2<sup>80</sup> = cote 2326.2 m, déterminée en 1980.*
- e Siehe Kapitel 3.4: Bemerkungen zu einzelnen Gletschern.  
*Voir chapitre 3.4: Remarques valables pour un seul glacier.*

Tabelle 3.4: Längenänderung 1965-1988: Zahl der Jahre mit Zuwachs

Tableau 3.4: Variations de longueur 1965-1988: Nombre des années de crue

Zuwachs- Jahre	jährlich beobachtet <i>observations annuelles</i>		mehrjährlich beobachtet <i>observations pluriannuelles</i>	
	Anzahl Gletscher	Gletscher Nr.	Nombre de glaciers	Glaciers Nos.
0	11	5, 14, 29, 34, 35, 36, 51, 84, 88, 95, 102	1	116
1 - 5	28	3, 4, 6, 7, 9, 12, 15, 17, 22, 24, 30-33, 50, 52, 55, 62, 63, 65, 72, 74, 83, 86, 92, 94, 97, 103	11	46, 101, 106, 108, 110-113, 115, 117, 119
6 - 10	16	1, 8, 16, 18-21, 23, 40, 44, 45, 47-49, 54, 58, 66, 78, 80-82, 85, 87, 90, 98, 105	5	107, 109, 114, 118, 120
11 - 15	13	10, 26, 38, 39, 56, 60, 67, 71, 76, 89, 91, 93, 96		
16 - 20	20	2, 11, 25, 27, 28, 37, 41, 53, 57, 59, 61, 68-70, 73, 75, 77, 79, 100, 104	1	64
21 - 23	4	13, 42, 43, 99		

### 3.4 BEMERKUNGEN ZU EINZELNEN GLETSCHERN

#### 3.4 REMARQUES CONCERNANT DES GLACIERS INDIVIDUELS

Die Bemerkungen sind mit der Nummer des Gletschers bezeichnet (vgl. Tab. 3.3).

*Les remarques portent le numéro du glacier (cf. tabl. 3.3).*

#### 1 Rhone

**1988:** L'avance moyenne de 1.4 m n'est pas significative. Le glacier doit être considéré comme stationnaire (P. Mercier).

#### 2 Mutt

**1988:** L'avance, plus faible que les années précédentes, est encore significative (P. Mercier).

#### 3 Gries (Ägina)

**1988:** Vermessungsflug am 21.9.1988, ausgewertet durch H. Bösch (VAW) am Autographen des Geodätischen Instituts der ETH Zürich. Die Kalbungsfront ist auf der Westseite weiter zurückgewichen als auf der Ostseite, wo sie an wenigen Stellen etwas vorgerückt ist. Streckenweise befindet sie sich am selben Ort wie 1986. Ihre Oberkante liegt im Mittel gleich hoch wie im Vorjahr. Die Eisdicke am Zungenende hat also entsprechend der Neigung der Oberfläche abgenommen, im Mittel um rund 2-3 m. Aus der Massenbilanz des Gletschers ergibt sich eine Abnahme der Eisdicke um durchschnittlich 1.2 m (VAW - M. Aellen).

**1989:** Vermessungsflug am 20.9.1989, ausgewertet durch H. Bösch am Autographen der VAW ETH Zürich. Die Kalbungsfront am Gletscherende hat sich im Bereich der gewölbeförmigen, vom See unterspülten Einbuchtungen bis rund 20 m bergwärts verlagert. Die pfeilerförmig auf Fels abgestützten Eisvorsprünge in der Zungenmitte und an den Uferflanken fassen nahezu an derselben Stelle wie im Vorjahr. Die Höhe der Stirnwand hat erneut abgenommen, im höchsten Punkt (Kote 2413.0 m) um 2.4 m, im Durchschnitt (2398 m) um rund 4 m. Die Haushaltmessungen, ausgeführt durch M. Funk (VAW), ergeben fast so starken Massenschwund wie im Vorjahr (Tab. 5.1 und 5.3). Damit gehört das Berichtsjahr wie das Vorjahr und weitere 3 Jahre (1971, 1973, 1976), in denen die Eisdicke im Mittel um mehr als 1.1 m abgenommen hat, zu den stärksten Schwundjahren seit Beginn der Messungen im Jahre 1961 (VAW - M. Aellen).

#### 4 Fiescher

**1988:** Das Weisswasser entströmt dem Gletscher auf der Ostseite durch einen rund 15 m breiten und 3-4 m hohen Auslass mit flacher Decke. Das Tor im Talweg ist verschwunden. An seiner Stelle hat sich ein steiler Eiswulst um 20 bis 30 m vorgeschoben. Die früher beobachtete wellenförmige Aufbuckelung der Gletscheroberfläche mit nachfolgender Senke hat nun offensichtlich das Zungenende erreicht (VAW - M. Aellen).

**1989:** Der Vorstoss des Vorjahres ist durch den Schwund in diesem Jahr bereits wieder ausgeglichen. Das Weisswasser entströmt dem grossen Torgewölbe im Talweg (VAW - M. Aellen).

## 5 Grosser Aletsch

**1988:** Die Massa tritt wie gewohnt am vordersten Zungenende aus ihrem subglazialen Gerinne zutage. Dessen Mündung hat sich seit dem Vorjahr auffällig verändert: der höhlenförmige Eisstollen über der felsigen, mit grobem Geschiebe gepflästerten Sohle ist durch schuppenartig von der Decke abgesenkte Eislamellen weitgehend verschlossen bis auf eine seichte, rund 10 m breite und 5 m hohe, hausförmige Öffnung am Stollenausgang, die sich von einem eingestürzten Gletschertor deutlich unterscheidet (VAW - M. Aellen).

**1989:** Die Höhenkote ist an der Basis des etwa mannshohen Gletschertors am Zungenende bestimmt (VAW - M. Aellen).

## 6 Oberaletsch

**1988:** Die Höhenangabe gilt für den Fuss der vordersten Eiswand an der Mündung der tiefen, streckenweise mit Moränenschutt verfüllten Schmelzwasserrinne in der Zungenmitte, wo der Oberaletschbach in einer niedrigen und flachen Öffnung zutage tritt (VAW - M. Aellen).

**1989:** Die Höhenkote ist am vorspringenden Zungenlappen östlich des torlosen Bachaustritts bestimmt. Das Zungenende ist grösstenteils schuttbedeckt (VAW - M. Aellen).

## 7 Kaltwasser

**1988:** Die schmale Zunge bei Punkt 3 ist um weitere 20 m zurückgeschmolzen. Die Längenzunahme (8.5 m) bei Punkt 2 wird durch den Schwund (6 m) bei Punkt 1 weitgehend ausgeglichen (M. Borter).

**1989:** Der Längenzuwachs ergibt sich aus einem Vorstoss (5.5 m) bei Messpunkt 1 und aus geringfügigem Schwund (0.1 bzw. 0.4 m) bei den Messpunkten 2 und 3. Vor Punkt 1 liegt ein abgetrennter, etwa 8-10 m mächtiger Eisrest (M. Borter).

## 11 Allalin

**1988:** Vermessungsflug am 17.11.1988 im Auftrag der Kraftwerke Mattmark (KWM), ausgewertet durch die VAW am Autographen des Geodätischen Instituts der ETH Zürich. Die Gletscherzunge und das Vorgelände waren am Aufnahmedatum frisch verschneit. Die angelagerten Sturzkegel, entstanden bei der anfangs November einsetzenden Rutschung, liessen sich gletscherseits nicht eindeutig abgrenzen. Der ermittelte Längenzuwachs ist also zum Teil - wenn nicht ganz - auf Anlagerung von Eis und auf Rutschungsbewegungen zurückzuführen (VAW - W. Schmid).

**1989:** Vermessungsflug für KWM am 25.10.1989, ausgewertet am analytischen Plotter der VAW. Das Zungenende ist auf seiner ganzen Breite wie auch an seinen seitlichen Rändern soweit zurückgeschmolzen, dass nur noch eine Wasserfassung unter dem Eis liegt (VAW - W. Schmid).

## 14 Gorner

**1989:** Der Zweijahreswert ergibt sich aus den Messungen des Beobachters A. Bodenmann, Visp, auf 4 Ordinatenlinien. Y. Biner, Zermatt, hat seine privaten Messungen weitergeführt. Diese ergeben 1988 einen Schwund um 19 m und 1989 um 20 m (VAW - M. Aellen).

**15 Zmutt**

**1988:** Avance nette de tout le front mesurable. Formation de deux petites moraines frontales attestant l'avance de la glace (P. Mercier).

**16 Findelen**

**1988:** Der Zweijahreswert beruht auf den regulären Messungen im Gelände, durchgeführt durch R. Zimmermann, Zermatt. Für das Berichtsjahr 1988 ergibt sich die Längenänderung (Schwund um 2.2 m) aus der Differenz zum photogrammetrisch ermittelten Wert des Vorjahrs (VAW - M. Aellen).

**1989:** Die Gletscherzunge hat sich auf ihrer linken Seite vom aufgeschobenen Moränenwall auf einer steilen Felsplatte abgesetzt. Der erhöhte Sichthorizont in der Mitte lässt vermuten, dass die Gletscherdicke wieder zugenommen hat (R. Zimmermann).

**17 Ried**

**1988:** Die Steilfront am Zungenende hat in der Höhe geringfügig abgenommen. Beim Gletschertor ist sie zurückgeschmolzen (VAW - W. Schmid).

**18 Lang**

**1988:** Die Längenänderung ist an der vorstossenden Zungenfront bestimmt (M. Borter).

**1989:** Die Längenänderung ist an der vorstossenden Zungenfront vom neuen, im Vorjahr gesetzten Fixpunkt aus bestimmt worden (M. Borter).

**19, 20, 21 Turtmann, Brunegg, Bella Tola**

**1988, 1989:** Die Messungen haben in beiden Jahren bei guten Verhältnissen stattgefunden (A. Tscherrig).

**29 Cheillon**

**1988:** Vermessungsflug am 9.8.1988. Das Gletscherende ist seit dem Vermessungsflug am 21.9.1983 auf der ganzen Breite deutlich zurückgeschmolzen (VAW - M. Aellen).

**30 En Darrey**

**1988:** Der Vergleich der Luftbilder vom 9.8.1988 mit den Aufnahmen vom 21.9.1983 und 14.9.1977 zeigt, dass in beiden Zeitspannen sowohl Schnee- und Firnanlagerung am Zungenende als auch Längen- und Dickenwachstum der Gletscherzunge stattgefunden hat. Der Gletscher ist über mehrere Jahre eindeutig vorgestossen (VAW - M. Aellen).

**1989:** Le glacier cause, depuis quelques années, bien du souci à ses observateurs. Les repères posés en 1976 ne sont plus visibles, recouverts par de la glace ou de la neige de névé durcie. Seul le repère no. 3 posé en 1971 est actuellement visible, à 6 m du recouvrement glaciaire qui se trouve à peu de chose près de la situation 1971. Le mesurage 1989 a été repris sur la ligne de base établie en 1956. Il en apparaît, que le glacier a avancé, de 1976 à 1989, de 133, 130 et 169 m sur les lignes de mesure respectives 1 à 3, soit de 144 m (ou 11 m/année) en moyenne (P. Nendaz).

### **31 Grand Désert**

**1989:** En général, le glacier n'a pratiquement pas reculé depuis 1988. Une cassure sur le portail du glacier ainsi qu'un petit lac en formation devant le front terminal ou également le grand rocher se découvrant de plus en plus sur le flanc droit du glacier sont des phénomènes à remarquer (J. Vouillamoz).

### **33 Tsanfleuron**

**1989:** A la date de l'observation, le terrain était recouvert d'une couche de neige d'environ 50 cm. Seul le point no. 7, posé en 1987 sur le côté d'un grand rocher face à la langue glaciaire a été récupérable (A. Lanz).

### **34 Otemma**

**1988:** Le glacier est en recul accentué sur la partie droite du front, où la Dranse sort de la glace et longe le front sur 200-300 m. Les mensurations effectuées par un temps magnifique ont été quelque peu gênées par le volume important des torrents émissaires grossis par la température quasi estivale. Le régime de décrue s'est poursuivi et même accentué. Ceci est également le cas des glaciers du Mont Durand et de Breney. Par contre, certains petits glaciers de cirque, en particulier celui de Boussine et celui du Tournelon Blanc (sud-est) m'ont paru en crue comme d'ailleurs le glacier du Plan Névé occidental dans le massif du Muveran (J.-L. Blanc).

**1989:** La Dranse longe le bord droit du glacier sur plusieurs centaines de mètres. Le portail se trouve actuellement à une vingtaine de mètres des rochers de la rive droite. Dans 1 à 2 ans, le torrent léchera la base de ces rochers. Les mensurations seront alors impossibles, le torrent étant infranchissable (J.-L. Blanc).

### **35 Mont Durand**

**1988:** Le glacier est en recul accentué dû à l'effondrement du portail. Un nouveau point a été établi sur la rive gauche du torrent (remplaçant pt. 4/85). Le point 5/87, situé sur la rive droite, n'a pu être contrôlé, torrent et glacier étant infranchissables (J.-L. Blanc).

**1989:** Le volume du torrent n'a pas permis de contrôler le point 5/87; traverser le glacier au-dessus du portail aurait exigé une longue taille (J.-L. Blanc).

### **36 Breney**

**1988:** Le recul du lobe droit du front s'est accentué, tandis que le lobe gauche est quasi stationnaire. La partie centrale du front, d'où sort la Diure de Breney, est très en retrait par rapport aux lobes latéraux. Les lacs, qui avaient gêné les mensurations en 1986, ont disparu (J.-L. Blanc).

**1989:** Les mensurations sont devenues plus aisées que ces années passées. Ceci est dû à la disparition des lacs, qui s'étaient trouvés devant le front, ainsi qu'au déplacement du portail et des torrents émissaires vers la rive gauche (J.-L. Blanc)

### 37 Giétro

**1988:** Vermessungsflug am 22.9.1988 im Auftrag der Kraftwerke Mauvoisin (FMM), photographisch ausgewertet durch das Vermessungsbüro H. Leupin, Bern. Die frontale Abbruchwand ist weniger hoch und liegt etwas weiter vorn als im Vorjahr. Auf beiden Seiten ist der Zungenrand auf den höhergelegenen Terrassen stellenweise um wenige Meter vorgerückt, sonst vorwiegend zurückgeschmolzen, am meisten an der Südwestecke. Die Eisdicke hat im Zungenbereich meistenorts beträchtlich abgenommen, ebenso im angelagerten Sturzkegel auf der Südseite. Im Firngbiet hat sie bei leicht beschleunigter Fliessgeschwindigkeit nur wenig abgenommen. Demzufolge sind Gletscherdicke und Fliessgeschwindigkeit bei allen Pegeln wieder etwa gleich gross wie 1975, vor der jüngsten Vorstossperiode (VAW - M. Aellen).

**1989:** Vermessungsflug am 25.10.1989 für FMM, ausgewertet durch Leupin, Bern. Die Gletscherzunge ist nördlich der Schlucht im Durchschnitt nahezu stationär geblieben, in den übrigen Bereichen jedoch stark zurückgeschmolzen. Der Gletscherrand liegt gegenwärtig an der Nordseite grossenteils auf dem Stand von 1947, sonst meistenorts deutlich innerhalb desselben, stellenweise auf dem Stand von 1950. Bei den Pegeln haben Dicke und Fliessgeschwindigkeit des Gletschers den Anfangswert von 1966 bzw. 1966/67 unterschritten, im Zungengebiet nahezu erreicht, abgenommen im untersten Abschnitt, wo der Anfangswert noch deutlich übertroffen ist (VAW - M. Aellen).

### 38 Corbassière

**1988:** La langue glaciaire est restée stationnaire. Son front s'est redressé et se présente sous forme de paroi plus ou moins verticale, haute d'une vingtaine de mètres. Comparées à celles de l'année précédente, les variations observées en 1988 dans les deux profils transversaux font penser aux mouvements d'une balançoire. Le point de mesure du ressaut a baissé de 4.4 m depuis 1985. A cet endroit, le mouvement du glacier s'est nettement accéléré, tandis que dans les profils il s'est ralenti. L'ablation a été mesurée sur 2 balises (ancienne et nouvelle) dans chaque profil (Ch. Wuilloud).

**1989:** La langue glaciaire a progressé à nouveau. Son front est presque vertical sur environ 10 m de hauteur. Les résultats des mensurations effectuées à la demande des forces motrices de Mauvoisin sur les profils transversaux de Panossière et de Tsessette ainsi que sur le point du ressaut sont résumés dans le tableau suivant. En variant fortement aux points mesurés des profils (de -4.0 à +0.6 m à Panossière, de -2.9 à +2.6 m à Tsessette), le niveau de la surface glaciaire n'a que peu baissé en moyenne. Le mouvement glaciaire, qui s'est accéléré sur le côté gauche du profil supérieur, n'a guère varié ailleurs par rapport à l'année précédente. Les marques du point A5 n'ont pas été retrouvées; il semble que les pierres peintes soient utilisés pour baliser le chemin de la cabane. Les chiffres obtenus des mesures de l'ablation sur une balise dans chaque profil sont à considérer avec une certaine réserve, vu que les relevés sont ponctuels et peu représentatifs (Ch. Wuilloud).

Profil Profil	Höhe altitude [m s.m.]	Mittlere Dickenänderung Variation moyenne de l'épaisseur			Mittlere Fliessgeschwindigkeit Vitesse moyenne du mouvement		
		1987/88 [m]	1988/89 [m]	1967/89 [m]	1987/88 [m/an]	1988/89 [m/an]	1967/89 [m/an]
Tsessette	2500	-0.6	-0.4	+6.9	37.3	37.4	39.2
Ressaut	2640	-1.2	0	—	52.2	38.1	—
Panossière	2660	+1.7	-0.5	+4.4	41.4	41.9	44.9

#### **43 Trient**

**1988:** Le front s'applatit et se rétrécit. Une part importante du recul (75-80 %) a eu lieu avant le 9.8.1988. L'avance continue de ces 26 dernières années (sur environ 380 m) semble terminée (P. Mercier).

**1989:** Le 18.8.1989, le front terminal du glacier avait reculé de 3.4 m, en moyenne, par rapport à l'état du 16.10.1988. Le relevé du 25.10.1989 n'a porté que sur la partie médiane du front (P. Mercier).

#### **44 Paneyrosse**

**1988:** Mesure approximative sur point 113 en raison du terrain accidenté (J.-P. Marlétaz).

**1989:** Les mesures, effectuées par beau temps, n'ont porté que sur 2 points (111, A). Suite à la fonte, la neige de l'hiver 88/89 a disparu sur la totalité du glacier et le bord de la glace s'est retiré au-dessus de la paroi rocheuse près du point 113 (J.-P. Marlétaz).

#### **45 Grand Plan Nivé**

**1988:** Beau temps; à partir de 2200 m, apparition d'importants névés dûs au fort enneigement de l'hiver 1987/88 (J.-P. Marlétaz).

**1989:** Mesures effectuées par beau temps sur terrain sec; pas de neige restante de l'hiver 88/89 sur toute la surface du glacier (J.-P. Marlétaz).

#### **47 Sex Rouge**

**1988:** Temps beau et chaud; glacier peu ou pas crevassé, glace recouverte de névé dur (30-60 cm) et de neige fraîche tombée récemment (10-20 cm), limite aval de la glace difficile à déterminer. Lors d'une visite en août, nous avons constaté un recul visible de la glace, déjà fort mince en 1987 (J.-P. Besençon).

**1989:** Mesures effectuées par beau temps, portant sur glace vive avec crevasses légèrement ouvertes, aucune trace de neige. Constaté un recul important sauf au point 2, où l'avance de 4.3 m est mal explicable (J.-P. Besençon).

#### **48 Prapio**

**1988:** Temps frais, momentanément couvert, neige récente assez dure (10-30 cm); difficulté de déterminer exactement la limite glace-névé (J.-P. Besençon).

**1989:** Les mesures, effectuées par temps couvert et frais, montrent un sensible retrait et une diminution importante de l'épaisseur de la glace dans la partie inférieure de la langue. La zone de transition pierrier-glacier est recouverte de chutes de pierres (J.-P. Besençon).

49 **Pierredar**

**1988:** Vermessungsflug am 5.8.1988. Die regenerierte Gletscherzunge reicht wie die Altschneedecke vor dem Gletscher weiter ins Vorgelände hinaus als im Vorjahr (VAW - M. Aellen).

**1989:** Am Aufnahmedatum der Luftbilder vom 8.9.1989 ist das Vorgelände nahezu schneefrei. Der talseitige Rand der regenerierten, mit Gesteinsschutt fast vollständig überdeckten Gletscherzunge ist stark zurückgeschmolzen (VAW - M. Aellen).

50 **Oberaar**

**1988:** Vermessungsflug vom 21.9.1988 im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli (KWO), photogrammetrisch ausgewertet durch das Vermessungsbüro A. Flotron, Meiringen. Der Gletscher hat im Berichtsjahr am Zungenende eine Fläche von 7048 m<sup>2</sup> freigegeben. Der Seespiegel hat den Eisrand an 97 Tagen (29.8.-2.11.87 und 20.8.-21.9.88) erreicht. Verglichen mit der Lage im Vorjahr ist die frontale Abbruchwand um 5 bis 20 m zurückversetzt, der vorspringende Zungenrand beidseits der Abbruchwand durch starkes Abschmelzen verkürzt, bis 60 m auf dem Nordufer (sonnseits), bis 40 m auf dem Südufer. Der Massenschwund (215'000 m<sup>3</sup>) und die durchschnittliche Dickenabnahme (2.1 m im vordersten Zungenbereich) sind aus den nachstehend angegebenen Verschiebungen der Höhenkurven berechnet (A. Flotron) - Die Höhenangabe in der Haupttabelle entspricht der Kote des Seespiegels am Aufnahmedatum (VAW - M. Aellen).

**1989:** Vermessungsflug am 15.8.1989 für KWO, ausgewertet durch Flotron. In der Messperiode (seit 21.9.88) hat der Gletscher am Zungenende eine Fläche von 1552 m<sup>2</sup> freigegeben. Der Seespiegel hat den Eisrand während insgesamt 60 Tagen (21.9.-2.11.88 und 30.7.-15.8.89) erreicht. Am Aufnahmedatum lag er auf Kote 2302 m ü.M. Die Einstauzeit war somit fast 30 Tage kürzer als in der vorjährigen Messperiode. Der bescheidene, im Vergleich zum Vorjahr stark verminderte Rückgang ist zweifellos eine Folge der kürzeren Einstauzeit, aber auch der zusehends geringeren Einstauhöhe. Dadurch treten Eisabbrüche infolge Unterspülung der Kalbungsfront immer seltener auf. Der Schwund ist über die ganze Breite der Front recht gleichmässig erfolgt (A. Flotron).

Höhenkurve [m ü.M.]	2310	2320	2330	2340	2350	2360
Flächenänderung 1988 [m <sup>2</sup> ]	- 2768	- 3784	- 3988	- 3660	- 3212	- 1068
Flächenänderung 1989 [m <sup>2</sup> ]	+ 800	- 300	- 1900	- 2200	- 1650	- 100
mittlere Verschiebung 1988 [m]	- 10.6	- 11.8	- 11.4	- 13.6	- 13.4	- 9.7
mittlere Verschiebung 1989 [m]	+ 3.1	- 0.9	- 5.7	- 6.9	- 7.8	- 2.5

51 **Unteraar**

**1988:** Der Flächenschwund am Zungenende (4988 m<sup>2</sup>) ist in ähnlicher Weise entstanden wie im Vorjahr: durch starken Schwund am hochgelegenen nördlichen Zungenrand (bis 20 m), im Einschnitt längs der Aare (bis 25 m) und am Gletschertor (bis 30 m), durch geringe Veränderungen im Gletscherboden nordseits der Aare und am vorspringenden südlichen Zungenlappen. Der Massenschwund (332'000 m<sup>3</sup>) im vordersten Zungenbereich ist aus den nachstehend angegebenen Zahlen berechnet, die im letzten Jahrbuch irrtümlicherweise dem Jahr 1987 zugeschrieben sind. Die Eisdicke hat im untersten Querprofil im Mittel um 2.8 m, in den höher gelegenen Profilen ziemlich gleichmässig zwischen 1.5 und 2.0 m abgenommen (A. Flotron). - Vermessungsflug und Auswertung wie Oberaar (VAW - M. Aellen).

**1989:** Der Gletscher hat am Zungenende eine Fläche von 8354 m<sup>2</sup> verloren, zur Hauptsache im Bereich der beiden Gletschertore. Beim nördlichen Tor beträgt der Rückzug bis 20 m (über eine Breite von etwa 60 m), beim zentralen Tor bis 90 m (durchschnittlich rund 40 m über eine Breite von etwa 60 m). In diesem Gebiet hat sich die Gletscheroberfläche merklich abgesenkt. Im weiteren ist auch an der linken Zungenflanke ein starker Schwund um durchschnittlich 40 m (über etwa 10 m Breite) festzustellen. Im mittleren, zwischen den Toren gelegenen Teil und an der rechten Flanke hingegen hat sich der Gletscherrand nur um wenig verlagert. Der Massenschwund (820'000 m<sup>3</sup>) im vordersten, neuerdings durch Koordinatenlinie 662.2 km begrenzten Zungenabschnitt ist aus den nachstehend aufgeführten Zahlen berechnet (A. Flotron). - Vermessungsflug und Auswertung wie Oberaar (VAW - M. Aellen).

Höhenkurve [m ü.M.]	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000
Flächenänderung 1987 [m <sup>2</sup> ]	- 5972	- 6384	- 6356	- 3712	- 6284	- 1748 (berichtigte Werte)			
Flächenänderung 1988 [m <sup>2</sup> ]	- 4776	- 6964	- 8424	- 4332	- 7044	- 788			
Flächenänderung 1989 [m <sup>2</sup> ]	- 5300	- 7850	- 10050	- 7270	- 13700	- 16000	- 7450	- 9630	- 6410
mittlere Verschiebung 1988 [m]	- 1.1	- 15.5	- 19.1	- 14.9	- 23.5	- 13.1			
mittlere Verschiebung 1989 [m]	- 13.2	- 17.0	- 19.7	- 14.0	- 26.9	- 26.7	- 14.9	- 22.4	- 16.1

## 52 Gaudi

**1988:** Die Messlinie verläuft streckenweise über frischen Moränenschutt (3-21 m hinter Punkt 1977), schuttbedecktes Eis (21-42 m, etwa 5 m hoch) und aperen Felsgrund (42-58 m), wo sie einen Wasserlauf quert, zum Eisrand. Der Felsaufschluss bildet eine fensterartige, vom Eis umrahmte Einbuchtung im Zungenende (R. Straub).

## 53 Stein

**1988:** In der Mitte, wo die Gletscherzunge in den Steinsee hineinreicht, wird der Vorstoss aufgehalten, indem das Eis ins Wasser abbricht. Durch dieses Kalben entsteht eine steile Eiswand. Seitlich davon geht der Gletschervorstoss weiter (R. Straub).

**1989:** Der Gletscherbach hat sich an die Ostseite des Zungenendes verlagert und fliesst, streckenweise in der Moräne, unmittelbar neben dem Basispunkt D''' vorbei (R. Straub).

## 54 Steinlimmi

**1988:** Das Gletschervorfeld wird mehr und mehr als militärisches Übungsgelände benutzt, seitdem eine breite Strasse bis zum Gletscher gebaut worden ist (R. Straub).

## 55 Trift (Gadmen)

**1988:** Vermessungsflug am 5.8.1988. Der Gletscher endet in der Schlucht unter einer langgestreckten angelagerten Schneezung (VAW - M. Aellen).

**1989:** Vermessungsflug am 20.9.1989. Das Zungenende reicht weniger weit in die Schlucht hinab als im Vorjahr, der angelagerte Schnee ist verschwunden (VAW - M. Aellen).

## 56 Rosenloui

**1988:** Aus den Luftbildern vom 5.8.1988 ist ersichtlich, dass sich der Gletscherrand, verglichen mit dem Stand des Vorjahres, nicht wesentlich verlagert hat, während die Sturzkegel im Talgrund vor der Westseite stark angewachsen sind (VAW - M. Aellen).

**1989:** Vermessungsflug am 24.8.1989. Die vorspringenden Zungenlappen an der Abbruchfront sind im Vergleich zum Vorjahr stark verkürzt, im Vorgelände liegt wenig abgestürztes Eis. Auch das Zungenende im Talgrund auf der Ostseite ist zurückgeschmolzen (VAW - M. Aellen).

## 58 Unterer Grindelwald

**1988:** Vermessungsflug am 17.8.1988, Ansichtsaufnahmen durch H. Boss am 26.10.1988. Die Bilddokumente bezeugen, dass der vorgelagerte Sturzkegel in der Schlucht stark zurückgeschmolzen, die Steilwand am Zungenende dagegen deutlich vorgerückt ist (VAW - M. Aellen).

**1989:** Die Luftbilder vom 22.8.1989 sind mit blossem Auge wie auch unter dem Stereoskop nicht eindeutig interpretierbar, weil das Zungenende im Schatten liegt. Die Ansichtsfotographien, aufgenommen von H. Boss am 11.10.1989, zeigen jedoch, dass das Zungenende weiter vorgerückt ist. Dabei hat sich die steile Rinne am Ostufer mit Eis aufgefüllt und verflacht, die Randkluft am Westufer dagegen vergrössert und vertieft. Die steile Stirnwand aus massivem Eis an der Zungenspitze hat sich vorgeschoben, während das verstürzte, an ihren Fuss angelagerte schuttbedeckte Eis zurückgeschmolzen ist (VAW - M. Aellen).

## 59 Eiger

**1988:** Der Gletscher ist auf der ganzen Breite und stärker als im Vorjahr zurückgegangen. An allen Stellen, wo das Eis sichtbar ist, scheint es dünner geworden zu sein (R. Zumstein).

**1989:** Der Schwund hat auf der ganzen Breite in unvermindertem Masse angedauert. Von der überfahrenen alten Messlinie ist bisher nur ein Punkt gefunden worden, da das Vorfeld stark mit Schutt überdeckt ist. Das Gletschertor ist eingestürzt und nur etwa 1 m hoch (R. Zumstein).

## 60 Tschingel

**1988:** Der Gletscher endet auf den beiden randlichen Messlinien rund 1 bzw. 5 m vor, auf den fünf übrigen rund 2 bis 7 m hinter dem vorjährigen Stand. Markante Vorstosswälle im Vorfeld zeigen an, dass der Gletscher im Winter durchwegs um etliche Meter vorgerückt und im Sommer dementsprechend stärker abgeschmolzen ist, als die Messwerte anzeigen. So ist der Schwund um 2 m auf Linie H (mit dem von der Bewegung erfassten Punkt H') entstanden durch Vorstoss um (mindestens) 4 m und Abschmelzung um (mindestens) 6 m. Die Eisdicke hat sichtlich zugenommen, besonders im Bereich des Eisbuckels auf der rechten (SE-)Seite, was weiteres Vorstossen erwarten lässt. Der Wetterhorngletscher scheint sich bei unverändertem Stand leicht abgeflacht zu haben (R. Zumstein).

**1989:** Trotz starker Abschmelzung im ausserordentlich warmen Sommer mit heftigen Gewittern ist der Gletscher meistenorts vorgestossen. Auch an den übrigen Stellen ist der im Winter gebildete Vorstosswall stärker ausgeprägt und weiter vorgeschoben als im Vorjahr. Dabei ist der (im Vorjahr verschobene) Messpunkt H' überdeckt worden. Die Eismächtigkeit, verglichen mit dem Stand 1988, hat etwas abgenommen (R. Zumstein).

## **62 Schwarz**

**1988:** Das Gletschervorfeld von Punkt c+20 bis an die stark überschuttete Gletscherzunge mit verfirntem Lawinenschnee 1-3 m hoch überdeckt, mitsamt dem 1987 eingerichteten Punkt d+118. Das Zungenende ist nur am Nordrand sichtbar. Für die Messung ist es von dort aus projiziert auf Linie c, wo es demnach im Berichtsjahr stationär geblieben ist. Der Südrand der Zunge, auf Linie d hinter dem Zungenende erfasst, ist um 15 m zurückgescholzen (U. Vogt / J. Wenger).

**1989:** Das Gletschertor am Zungenende ist eingestürzt. Ein neues kleines Tor ist an der Nordseite ungefähr auf gleicher Höhe entstanden wie die beiden torartigen Öffnungen, die sich am Zungenende bei der südlichen Messlinie (d) ebenfalls neu gebildet haben. Im Vergleich zu den Vorjahren ist die Wasserführung der Gletscherbäche gering (U. Vogt / J. Wenger).

## **63 Lämmern**

**1988:** Messpunkt A' ist am Felsblock, der ihn überfahren hat und möglicherweise weiter abgleiten wird, provisorisch neu bezeichnet worden. Der Messpunkt ist unter dem Block gerade noch sichtbar (U. Vogt / J. Wenger).

**1989:** Das Eis am Zungenende ist bei Messpunkt C' deutlich mächtiger als bei den Punkten b' und A' auf der linken (Nord-) Seite, wo der Gletscherrand stark abgeflacht ist. Ein Tor ist nicht vorhanden, die Wasserführung im Vergleich zu den Vorjahren gering (U. Vogt / J. Wenger).

## **65 Rätzli**

**1988:** Das Zungenende mit dem Gletschertor, wo sich eine Eisgrotte bildet, ist stationär geblieben. Der Gletscherrest ist weggeschmolzen. Dies erklärt den starken Schwund (ca. 67 m) auf Messlinie A (Chr. von Grünigen / S. Allemann).

**1989:** Der Gletscherbach entfließt neuerdings dem westlichen, mit Messlinie A erfassten Zungenlappen, wo ein neuer Fixpunkt (A89) angelegt worden ist (Chr. von Grünigen).

## **66 Tiefen**

**1988:** Auf der südlichen und mittleren Messlinie ist das Zungenende fast stationär. Der Rückgang ist zum grössten Teil an der nördlichen Flanke gemessen. Der Wasseraustritt ist grösser als im Vorjahr, aber immer noch niedrig und flach (K. Oechslin / J. Marx).

**1989:** Der Gletscher, der kein Tor aufweist, ist auf allen Messlinien zurückgegangen, im Durchschnitt um insgesamt 33 m seit 1983. Der Fixpunkt der Linie D ist verlegt worden von D69 zum neu markierten Felsblock D89 (K. Oechslin / J. Marx).

## **67 St. Anna**

**1988:** Der Gletscherrand ist auf der östlichen Messlinie, im Bereich der Skipiste, wo der Neuschnee laufend festgepresst wird, wieder vorgedrückt (1.9 m), auf den drei übrigen Linien zurückgegangen (2.5 bzw. 1.0 und 5.9 m). Die Längsspalten bei den westlichen Messlinien sind wieder aufgerissen (K. Oechslin / J. Marx).

**1989:** Der Gletscher endet ohne Tor in einer flach auslaufenden, seit 1986 schwindenden Eiszunge. Deren Rand ist in der Mitte stehen geblieben, auf den 3 seitlichen Messlinien zurückgegangen (K. Oechslin / J. Marx).

## 68 Kehlen

**1988:** Nachdem der Gletscher von 1968 bis 1987 dauernd und über eine Strecke von insgesamt 263 m vorgestossen war, ist er nun erstmals und auf beiden Messlinien etwas zurückgegangen (1.5 bzw. 2.5 m). Der Eisrand hat sich vom Moränenwall um ein paar Meter abgesetzt. Innerhalb der Moräne sind die Felsblöcke vor der schuttbedeckten rechten Eisflanke verschoben worden. Das Gletschertor ist grösser als im Vorjahr (K. Oechslin / J. Aschwanden).

**1989:** Das Zungenende ist auf beiden Messlinien etwas zurückgegangen und sichtlich flacher geworden. Die Kehlenreuss fliesst jedoch - im Gegensatz zum Vorjahr - ohne Torbildung unter dem Eis hervor. Nach 20 Jahren ununterbrochenen Vorstossens ist der Gletscher seit 1987 um gut 3 m zurückgegangen (K. Oechslin / J. Aschwanden).

## 69 Rotfirn

**1988:** Die Hauptfront ist auf der linken Seite (NW-Linie, bergseits) vorgestossen (3.0 m), auf der rechten (talwärtigen) Seite zurückgegangen (4.5 m). Diese Veränderungen heben sich nahezu auf. Das Gletschertor an der Kehlenreuss ist um 6.5 m zurückversetzt, der Eisrand ob dem Tor steiler geworden. Die Reuss hat den Block mit Punkt 1984 unterspült und rund 50 cm talwärts verschoben. Die rechte, vollständig mit Schutt überdeckte Zungenflanke hat sich geringfügig nach Ost verschoben. Der Gletscher ist von 1975 bis 1986 um rund 62 m vorgestossen, seither um fast 5 m zurückgegangen (K. Oechslin / J. Aschwanden).

**1989:** In der Fliessrichtung der Zunge (quer zur Kehlenreuss) ist das Eis auf der linken (NW-)Linie um 9 m, auf der rechten um 3.5 m zurückgeschmolzen. Der talseitige Eisrand ist beim Gletschertor um 5 m zurückgeschmolzen. Dieser (längs der Reuss gemessene, im Mittelwert nicht eingeschlossene) Wert zeigt an, dass das Umschwenken des Eisflusses ins Voralptal bereits wieder aufgehört hat. Die Kehlenreuss fliesst an der bergseitigen Flanke unter dem Eis und tritt in der Zungenmitte aus einem etwa 1 m hohen Tor wieder zutage (K. Oechslin / J. Aschwanden).

## 70 Damma

**1988:** Die Eisfront am Zungenende ist nach wie vor steil und hoch. Sie ist auf beiden Messlinien vorgestossen. Bei Punkt 1985C schiebt sie Schutt vor sich her. Der Bach tritt ohne Tor unter dem Gletscher hervor und ist überall überschreitbar. Ein zweiter, etwas tieferer Bach entspringt am Ost- rand. Der Gletscher ist seit 1976 ununterbrochen vorgestossen, um total 193.5 m (K. Oechslin).

**1989:** Der Gletscher ist wieder auf beiden Messlinien vorgestossen, somit um nunmehr insgesamt 202 m seit 1975. Über die steile und mächtige Eisfront kollern Steine herab, vor der Zungenmitte häuft sich der Schutt immer mächtiger an. Beide Gletscherbäche weisen kein Tor auf und sind bei grösserer Wasserführung als im Vorjahr überschreitbar (K. Oechslin).

## 71 Wallenbur

**1989:** Der Gletscher ist ausser am blanken Eishang der Zungenstirn ganz mit Schutt bedeckt. Auf der Westseite, wo die Schuttdecke am Fuss des Eishangs eingesenkt und aufgebrochen ist, liegt eine Toteisscholle. Die Voralpreuss fliesst ohne Tor heraus (K. Oechslin / T. Arnold).

### 73 Hüfi

**1988:** Die Gletscherstirn ist im südlichen Teil kräftig vorgestossen (27 m), auf den anderen Messlinien etwas zurückgegangen (1 m am Tor in der Mitte, 1.5 m im nördlichen Teil). In der Mitte ist sie fast lotrecht, vor der Einbuchtung am mannshohen Tor liegt viel abgebrochenes Eis. Wasser fliesst auch an mehreren andern Stellen unter dem Eis hervor. Der Gletscher endet nun rund 64 m vor dem Stand 1973 (K. Oechslin / W. Tresch).

**1989:** Die Zungenende ist auf der ganzen Breite zurückgegangen, das grosse Tor versperrt mit verstücktem Eis, die Uferbank auf der Ostseite des Hüfisees bis vor die Eiszunge begehbar. Diese endet noch 42.8 m vor dem 1972 gemessenen kleinsten Stand (K. Oechslin / T. Arnold).

### 74 Griess (Unterschächen)

**1989:** Das Zungenende besteht aus einer dünnen, von Gesteinsschutt völlig überdeckten Eisschicht. Der Eisrand ist am Bachaustritt (mit etwa 50 cm hohem Tor), wo jeweils die Messung vorgenommen wird, eindeutig festgestellt. Abgesehen von neun kurzen Unterbrüchen mit geringfügigem Vorstossen, ist der Gletscher seit 1930 ständig zurückgegangen (K. Oechslin / T. Arnold).

### 75 Firnalpeli (Ost)

**1988:** Die Gletscherzunge ist auf der Ostseite deutlich zurückgegangen (bis 19 m), auf der Westseite etwas vorgestossen (bis 12 m). Trotz reichlichem Schneefall im Frühjahr überwiegt die Tendenz zum Schwund (R. Imfeld).

### 76 Griessen (Obwalden)

**1988:** Der Gletscherrand ist auf der Ostseite deutlich (bis 3 m), auf der Westseite geringfügig (bis 0.6 m) zurückgeschmolzen. Gesamthaft gesehen, ist an der breitgestreckten Gletscherzunge in den letzten Jahren ein deutlicher Schwund des Eises festzustellen (R. Imfeld).

### 77 Biferten

**1988:** Der Gletscher hat sich am Zungenende wenig verändert, sein Rand verläuft mit geringen Abweichungen durchwegs gleich wie im Vorjahr. Das Zungenende unterhalb der Wasserfassung 2 ist um 1 m zurückversetzt, die Höhe ist an der Unterkante des Eises gemessen. Die Oberkante der Steilwand liegt auf Kote 1963, 7 m höher als 1982. Östlich der Fassung liegen Eistrümmer, sonst sind - nach warmen Hochsommermonaten - auf der ganzen Länge keine Séracs mehr vorhanden, auch kein Lawinenschnee (W. Wild).

**1989:** Die Messung, ausgeführt bei gutem Wetter, aber erschwert durch vereiste Stellen, ergibt geringfügigen Zuwachs an der Ostseite, sonst durchwegs beträchtlichen Flächenschwund, um insgesamt 5700 m<sup>2</sup> seit dem Vorjahr. Die glatte Eiswand am Zungenende hat sich stark erniedrigt, ihr tiefster Punkt liegt am unteren Rand des Rechens auf der östlichen Wasserfassung. Oberhalb der westlichen Fassung ist der Gletscherrand ebenfalls viel niedriger als in den Vorjahren, die Sérac-türme sind verschwunden wie auch die Eistrümmer bei der östlichen Fassung. An der Westseite hat sich der Eisrand auch im Vorjahr stärker verändert als damals angenommen. Die Visur von der neuen über die alte Fridolinshütte berührt die Gletscheroberfläche auf Kote 2056 m, 3.7 m tiefer als 1981. Im ersten Abbruch, oberhalb der Grünhornhütte, ist der Gletscher so stark zerrissen, dass eine Überquerung derzeit unmöglich ist (W. Wild).

## 78 Limmern

**1988:** Der Vergleich der Luftbilder vom 28.9.1988 mit den Aufnahmen vom 14.9.1987 lässt keine namhaften Veränderungen am Zungenende erkennen (VAW - M. Aellen).

**1989:** Den steilen Eisrand säumt fast durchwegs eine frische Stirnmoräne, die bei Punkt 3 die Basislinie erreicht und die Messmarke überdeckt. Das Seelein westlich davon ist mit Schutt und Eis aufgefüllt. Punkt 7 ist unauffindbar, da die alte Moräne samt der Messmarke abgetragen worden ist (U. Steinegger). - Die Luftbilder vom 25.8.1989 zeigen eine starke, im mittleren Teil bis an den obern Gletscherrand ausgreifende Ausaperung. Eine behelfsmässige manuelle Auswertung ergibt für das Nährgebiet einen Anteil von schätzungsweise  $\frac{4}{9}$  der Gletscherfläche. Damit sind für die Gleichgewichtslinie und für den Massenhaushalt die in Tabelle 5.1 eingetragenen Erfahrungswerte zu erwarten (VAW - M. Aellen).

## 79 Sulz

**1988:** Der Gletscher, mit sehr wenig Schutt bedeckt, macht einen sauberen Eindruck. Das Tor ist deutlich ausgebildet und offen (Th. Rageth).

**1989:** Das Gletschertor ist sehr weit offen und wie eine riesige Gruft bequem begehbar. Die dünne Eisdecke im vorderen Teil des Gewölbes droht einzustürzen. Die saubere, kaum mit Schutt bedeckte Gletscherzunge weist seitlich mehrere grosse Löcher auf (Th. Rageth).

## 80 Glärnisch

**1988:** Nach einigen Schneefällen im September war das Gletscherende am Messdatum wieder ganz schneefrei. Das dünne Eis oberhalb Punkt 3A war weggeschmolzen, der Gletscherrand oberhalb der Felsbank fast unverändert etwa 3 m dick. Der Firnbach führte noch ziemlich viel Wasser (W. Wild / H. Seelhofer).

**1989:** Bei prachtvollem Sommerwetter ist die Messung in völlig schneefreiem Gelände und am nahezu schutfreien Gletscherende durchgeführt und eine neue Messlinie mit den Punkten 5 und 6 (gelbe Farbmarke mit Bohrloch) fixiert worden. Damit wird das Gebiet südöstlich des Sees besser erfasst. Das Zungenende ist grossenteils zurückgegangen (bis 50 m beim See auf der Westseite, insgesamt über eine Fläche von  $1991 \text{ m}^2$ ), stellenweise jedoch vorgerückt (bis 20 m in der Mitte, insgesamt über eine Fläche von  $515 \text{ m}^2$ ). Auf der Ostseite hat es bei wenig veränderter Lage in der Dicke abgenommen (um 1-2 m bei Punkt 1973). Der Wasserspiegel des Sees ist um 1.6 m auf Kote 2295.1 gestiegen, vermutlich weil das am Fels anliegende Eis infolge Kalbung abgeschmolzen ist. Die Seefläche beträgt nun  $2575 \text{ m}^2$ , die Seetiefe etwa 1.9 m (W. Wild).

## 81 Pizol

**1988:** Die Messung (ab Basis B) wird durch die geringe Neuschneelage nicht beeinträchtigt. Der Gletscher ist bei allen 6 Punkten zurückgegangen (7-30 m). Das Toteis vor 4A-6A hat abgenommen, das Firnfeld vor dem Gletscher ist bis auf ganz kleine Reste abgeschmolzen, die Firnzunge NW Punkt 6 kaum mehr feststellbar (A. Hartmann).

**1989:** Der Gletscher ist nach den Schneefällen vom 26.-28.9. und 8./9.10.1989 nicht mehr ausgeapert. Eine Messung vor dem Einschneien war aus Termingründen nicht möglich (A. Hartmann).

### 83 Punteglias

**1988:** Die atypisch geformte zweilappige Gletscherzunge ist erneut von der Mitte gegen die seitlichen Lappen hin abgeschmolzen, besonders stark auf der linken (östlichen) Talseite. Anordnung der Messpunkte und Form der Gletscherzunge bringen es mit sich, dass seitliches Abschmelzen rechnerisch gelegentlich zu grossen Sprüngen in der Längenabnahme führt. Der berechnete Mittelwert ist eher als Indikator für die Flächenänderung denn als Mass für die Längenänderung zu interpretieren (H. Klöti).

**1989:** Die Messung hat bei 10-15 cm hoher Schneedecke und sehr gutem Wetter stattgefunden. Die Mächtigkeit des Eises am Gletscherende verringert sich weiterhin so rapid, dass ihre jährliche Veränderung auch ohne Messungen deutlich auffällt, z.B. dadurch, dass die Gefährdung der Messgehilfen durch Steinschlag abnimmt infolge der stark verminderten Randhöhe. Der linke Zungenlappen wird durch mehrere, ungefähr nordostwärts von Jahr zu Jahr rasch wachsende Schmelzwassergräben immer stärker unterteilt und abgebaut. Auffällig ist im Übrigen auch die starke Algenbildung in den Bächen, die aus dem östlichen Zungenlappen treten und dort ziemlich langsam fliessen (H. Klöti).

### 84 Lenta

**1988:** Der Neuschnee auf dem Gletscher macht den Umriss der schuttbedeckten Zunge gut sichtbar. Diese ist erneut auf allen 3 Messlinien zurückgegangen (4-15.5 m). Für die späte Jahreszeit fliesst erstaunlich viel Schmelzwasser, das an drei Orten ohne Torbildung austritt. Verschiedene Vertiefungen und Senken in der schuttbedeckten Oberfläche lassen auf geringe Dicke der kraftlos erscheinenden Zunge schliessen. Auch die grosse Furche am Ostrand weist noch eine dünne Eisschicht auf (B. Parolini).

**1989:** Die Gletscherzunge ist weniger weit zurückgeschmolzen als in den letzten Jahren. Der Vergleich mit den Photoaufnahmen 1988 zeigt aber, dass das Zungenende dünner geworden ist (B. Parolini).

### 85 Vorab

**1988:** Das Gletscherende ist durchgehend mit Neuschnee bedeckt (ca. 10 cm). Der Eisrand kann einwandfrei aufgefunden und vermessen werden (R. Danuser).

**1989:** Der Gletscher mit äusserst flach auskeilendem Zungenende ist am 29.8.1989 eingeschnitten worden. Dieser Fröhschnee war noch nicht weggeschmolzen, als die Schneefälle vom 26.-28.9.1989 die Hoffnung auf erneutes Ausapern zunichte machten (R. Danuser).

### 86 Paradies

**1988:** Das frühere Zungenende ist im Mittel um 26.0 m, das heutige um 15.2 m zurückgegangen. Geringste Gletschermasse seit Beginn der Messungen vor über hundert Jahren (O. Hugentobler).

**1989:** Die abgetrennte Eisfläche auf dem Talboden ist im Mittel um 37.0 m, das Zungenende oberhalb der Felsstufe - bei geringfügigem Vorstossen auf der Nordseite - im Mittel um 5.6 m zurückgeschmolzen. Daraus ergibt sich bei sehr starker Ausaperung und enormem Massenverlust der Gletscherzunge ein durchschnittlicher Längenschwund um 21.3 m (O. Hugentobler).

**87 Suretta**

**1988:** Geringste Gletschermasse seit 20 Jahren (O. Hugentobler).

**1989:** Neben dem flächenmässigen Schwund ist auch ein grosser Eismassenverlust zu verzeichnen (O. Hugentobler).

**88 Porchabella**

**1988:** Die Messungen, mit guter Genauigkeit durchgeführt, ergeben an einer Stelle unveränderte Lage (unsicher wegen Eisabbruch), sonst überall Längenabnahme (bis 11.7 m). Bedingt durch besondere Gegebenheiten des Geländes liegt das Hauptgletschertor etwas tiefer als im Vorjahr (Chr. Barandun / F. Juvalta).

**1989:** Eine dünne Neuschneesicht hat die Messungen nur minim beeinträchtigt. An 3 Messstellen im östlichen Teil ist ein Vorstossen (um 1-2.8 m), an den übrigen 25 Stellen eine Längenabnahme (um 1.1-10.2 m) festzustellen, nachdem der Gletscher im Sommer wiederum zu einer "Geröllhalde" abgeschmolzen war. Die Felsblöcke B und C haben sich bei unverändertem Abstand um rund 15 m in der Fliessrichtung des Gletschers bewegt (Chr. Barandun / F. Juvalta).

**89 Verstankla**

**1988:** Nach warmem Herbst und schneearmem Frühwinter brachte erst der März reichlich Schnee mit grösseren Lawinen. Auf späten Sommerbeginn folgte im August grosse Wärme, die den Firnschnee weiter zurückschmelzen liess als im Vorjahr. Am Zungenende, das auf allen Messlinien zurückgegangen ist (3-9 m), sind grosse Schmelzlöcher und -mulden entstanden, die Höhle des Gletschertors ist ausgeweitet (J. Stahel).

**1989:** Nach einem extrem milden Winter, frühen Frühling und ziemlich warmen Sommer ist der Gletscher stark ausgeapert, das Gletscherende und der Firnschnee sind weiter abgeschmolzen. Am südlichen Gletscherende, wo reichlich vorhandenes, von einem früheren Bergsturz stammendes Moränenmaterial den Schmelzprozess stark verzögert, aber auch den Messpunkt 3 meterhoch überführt und unauffindbar zugedeckt hat, ist der ebenso verschüttete, kaum noch erkennbare Eisrand um 7 m vorgerückt. Bei den 3 übrigen Messpunkten ist er um 2-5 m, im Durchschnitt aller Messungen um 1 m zurückgegangen. Lage und Höhe des höhlenartigen Gletschertors haben sich im Gegensatz zum ausgebuchteten, von Jahr zu Jahr stark umgeformten Rand des nördlichen Zungenendes wenig verändert (J. Stahel).

**90 Silvretta**

**1989:** Am Aufnahmedatum (8.9.1989) der Luftbilder ist der Gletscher bis an das Zungenende mit einer Neuschneedecke überzogen. Die Ergebnisse der Messungen am Pegelnetz, von M. Funk und W. Schmid (VAW) ausgeführt, sind in den Tabellen 5.1, 5.4 und 5.9 zusammengefasst (VAW - M. Aellen).

**91 Sardona**

**1988:** Die Messung ist bei ähnlichen Gegebenheiten wie in den Vorjahren an 5 Punkten durchgeführt. Beim unzugänglichen Punkt 2 ist starke Spaltenbildung im Gletschereis zu beobachten. Der Gletscherrand ist durchwegs zurückgegangen (2.1-13.8 m). Das Eisfeld zwischen den Punkten 5 und 6 ist kaum mehr feststellbar (A. Hartmann).

**1989:** Die Bewegungen beim verschütteten oder abgerutschten Messpunkt 2 dauern an, weshalb eine Neufixierung der Messmarke vorläufig nicht angezeigt ist. Der Gletscherrand ragt hier wie bei Punkt 1 immer noch hoch auf. Das mitgeführte Bergsturzmaterial ist am Gletscherrand bei den Punkten 2 und 3 abgelagert als Endmoräne, die das Eis mit Felsbrocken, Steinen und Sand so dick überdeckt, dass der Gletscherrand schwierig zu finden ist. Auffallende Erscheinungen sind im gleichen Bereich eine tiefe Einsackung innerhalb des Gletschers und durchwegs die starke Abschmelzung am Gletscherrand, welcher nur bei Punkt 4 vorgestossen (um 1 m), sonst überall mehr oder weniger (um 2.3-46.7 m) zurückgegangen ist. Der starke Schwund bei Punkt 6 ergibt sich aus dem Abschmelzen des relativ flachen Firnfelds vor dem Gletscher. Das Toteisfeld zwischen den Punkten 5 und 6 ist ganz verschwunden (A. Hartmann).

## **92 Roseg**

**1988:** Die Messung auf der NE-Seite ist durch grosse Gletscherspalten erschwert und beruht z.T. auf Schätzungen. Das NW-Ende der Zunge ist teilweise abgetrennt durch einen Einbruch des Gletschers (bis zum Boden), weshalb diese Randpartie als (angehendes) Toteis nicht eingemessen worden ist (C. Mengelt).

**1989:** Messbedingungen gut. Die schuttbedeckte Eismasse am linken (NW-)Ufer hat sich vom Gletscher ganz abgelöst. Sie ist wie im Vorjahr nicht berücksichtigt im Messergebnis (G. Bott).

## **93 Tschierva**

**1988:** Der Gletscher ist auf der ganzen Breite der Front deutlich zurückgegangen (6-67 m). Bei Punkt 60W ist am Gletscherrand ein (im Museum alpin Pontresina zu besichtigendes) Holzstück zum Vorschein gekommen (C. Mengelt).

**1989:** Der Schwund (an allen Punkten bis auf einen) ist an den hinterlassenen Moränenwällen deutlich sichtbar. Nur am äussersten Punkt auf der Westseite ist ein Vorstoss (um 7 m) gemessen worden. Am Zungenende mit 4 Wasseraustritten sind 2 grössere Findlinge zum Vorschein gekommen (G. Bott).

## **94 Morteratsch**

**1988:** Optimale Messbedingungen bei unverändertem Bachaustritt am Gletscherrand. Das kleine Gletschertor an der Zungenmitte führt kein Wasser (C. Mengelt).

**1989:** Der Gletscher entwässert sich wieder an mehreren Stellen, auch durch das neue Gletschertor mit drei Wasserläufen in der Zungenmitte (G. Bott).

## **95 Calderas**

**1988:** Bei sehr guten Messbedingungen ergibt sich auf der Ostseite ein auffallend regelmässiger Rückgang (10-14 m), auf der Westseite ein Zuwachs (6-7 m) am Zungenrand, im Bereich des Bachaustritts (C. Mengelt).

**1989:** Mässig gute Messbedingungen bei stellenweise vorhandenem Schnee. Starker Schwund (um 15-17 m) in der Umgebung des Gletscherbachs in Zungenmitte (G. Bott).

**96 Tiatscha**

**1988:** Die Gletscherzunge ist leicht vorgestossen bei weiterer Abflachung der Eismassen im Gletscherbruch (J. Könz).

**1989:** Leichter Vorstoss des Gletscherendes, aber weitere Abflachung (Absacken) der Eismassen im Gletscherbruch (J. Könz).

**97 Sesvenna**

**1988:** Auffallend ist der starke Rückzug der Randpartien des Gletschers. Noch vor wenigen Jahren hat ein schönes Gletschertor bei Messlinie 1 den Abschluss des Zungenendes gebildet. Im Verlaufe dieses Sommers ist es restlos weggeschmolzen. Auch die östliche Gletscherhälfte verliert an Mächtigkeit immer mehr, dermassen dass in den nächsten Jahren weiterhin starker Rückzug des Gletscherrands zu erwarten ist (L. Rauch).

**1989:** Der Gletscherrand ist ziemlich gleichmässig (um 1.2-2.4 m) zurückgeschmolzen, das Gletschertor verschwunden. Die Moräne zwischen den Punkten 3 und 4 scheint ziemlich mächtig zu sein (L. Rauch).

**98 Lischana**

**1988:** Der Gletscher ist wie im Vorjahr durchwegs abgeschmolzen, besonders stark im westlichen Teil. Bei Messlinie 118 überdeckt das Moränenmaterial den Eisrand und verhindert eine exakte Messung. Wegen geringer Mächtigkeit der Eismassen ist weiterhin mit starkem Rückgang des Gletschers zu rechnen (L. Rauch).

**1989:** Die Messungen ergeben beim östlichsten Messpunkt weiteres Schwinden (um 6.8 m), sonst bedeutendes Vorstossen des Gletscherrandes (in der Mitte bis 23 m). Der Firnschnee von 1987 ist trotz der geringen Schneelage des letzten Winters nicht geschmolzen und hat sich in der Zwischenzeit vereist. Sein unterer Rand gilt nun als Gletschergrenze (L. Rauch).

**99 Cambrena**

**1988:** Der Gletscher ist stark zurückgegangen, besonders auf der Westseite (bei Punkt 1 und 2), wo grössere moränenbedeckte Flächen freigelegt worden sind. In der Mitte (Pte. 2-4) ist die Gletscherzunge flacher geworden, auf der Ostseite hingegen (Pte. 4-8) ist sie weniger abgeschmolzen (A. Godenzi).

**1989:** Die Gletscherzunge ist wieder stark abgeschmolzen. Am meisten ist sie am Rand der Messstrecke zurückgegangen (um 14 m bei Punkt 1, um 21 m bei Punkt 8). Beim Eisabbruch ist eine grosse Fläche mit Schutt bedeckt (A. Godenzi).

**100 Palü**

**1988:** Im Unterschied zu früheren Jahren ist die Gletscherzunge völlig blank, das Tor mit der anschliessenden Grotte gut ausgebildet und spektakulär (A. Colombo).

### 101 Paradisino ("Vedreit da Camp")

**1988:** Die Zunge ist weiter zurückgeschmolzen und ganz aper. Der Schuttkegel an der Südseite ist noch grösser geworden und bedeckt die linke Hälfte der Zunge (A. Godenzi).

**1989:** Der Gletscher ist auf der rechten Seite, im Bereich der Wärme-Rückstrahlung von den Uferfelsen, sehr stark abgeschmolzen. Seine linke Hälfte verschwindet immer mehr unter dem angrenzenden Schuttkegel (A. Godenzi).

### 102 Forno

**1988:** Bei sehr guten Messbedingungen ist klar zu sehen, dass der Gletscher seit 1986 auf seiner ganzen Breite ausserordentlich stark (37-79 m) zurückgegangen ist (C. Mengelt).

**1989:** Sehr gute Messbedingungen; weiterer markanter Schwund, vor allem im Bereich des Tors am Gletscherbach (C. Mengelt).

### 103 Bresciana

**1988:** Il fronte del ghiacciaio è ben visibile, la coltre di ghiaccio assai consistente si è sciolta in parte (C. Valeggia).

**1989:** Il fronte ben visibile del ghiacciaio è regredito di 0-6 m (C. Valeggia).

### 104 Basodino

**1988:** Dalle misurazioni effettuate risulta un aumento medio di 3 m. Questo è da ritenersi normale visto che il fronte del ghiacciaio ha una volumetria assai ragguardevole (C. Valeggia).

**1989:** Il ghiacciaio è posto su un pendio assai ripido, con un fronte ben visibile. Le misurazioni rivelano una diminuzione media di 4.9 m (0-9 m in particolare). Anche il suo spessore è diminuito (C. Valeggia).

### 105 Rossboden

**1988:** Die Längenänderung ist wie stets an der Stirn des vordersten, mit Blockschutt überdeckten (reaktivierten) Zungenabschnitts auf den 3 bisherigen Messlinien ermittelt (M. Borter / O. Dorsaz).

**1989:** Die Situation hat sich nicht verändert. Die Längenänderung an der vorstossenden Stirn des vordersten Zungenbereichs ist ermittelt aus Werten zwischen 0.5 und 5.0 m (M. Borter / O. Dorsaz).

### 106 Mittelaletsch

**1988:** Vermessungsflug am 5.8.1988. Das Zungenende mit dem Gletschertor ist bis an den Fuss der Felsstufe zurückgeschmolzen. Dabei ist es als steile, weitgehend schutfreie Eiswand der Zungenstirn angenähert und einverleibt worden. Die Zungenstirn ist auch an der Ostseite, oberhalb der Felsstufe, stark zurückgeschmolzen (VAW - M. Aellen).

**1989:** Vermessungsflug am 8.9.1989. Das Zungenende ist durchwegs zurückgeschmolzen, besonders weit am Gletschertor auf der Westseite. Der Bach fliesst nun über eine rund 1 km lange Strecke in offenem Gerinne, da sich auch das Tor am Rand des Grossen Aletschgletschers sehr weit talwärts verlagert hat (VAW - M. Aellen).

#### 107 Bis

**1988:** Vermessungsflug am 22.9.1988. Das Zungenende ist in allen Teilen sichtlich weiter abgeschmolzen (VAW - M. Aellen).

**1989:** Vermessungsflug am 22.9.1989. Die seitlichen Zungenlappen sind weiter abgeschmolzen als im Vorjahr, vor der Abbruchfront liegt sehr wenig frisch abgestürztes Eis, die alten Sturzkegel sind weitgehend verschwunden (VAW - M. Aellen).

#### 108 Orny

**1988:** Vermessungsflug am 27.9.1988. Die Gletscherzunge ist seit der Vermessungsaufnahme vom 18.8.1982 weiter vorgestossen. Der Eisrand liegt noch unmittelbar am aufgeschobenen Moränenwall (VAW - M. Aellen).

**1989:** Der visuelle Vergleich der Luftbilder vom 25.10.1989 mit den Vorjahresaufnahmen lässt keine merkliche Verlagerung der Zungenstirn erkennen (VAW - M. Aellen).

#### 109 Alpetli

**1988:** Die Gletscherdicke hat weiter zugenommen, besonders in der Zungenmitte. Der Gletscher ist auf der ganzen Breite merklich vorgestossen (U. Fuhrer).

#### 110 Lötschberg

**1989:** Vermessungsflug am 6.12.1989. Verglichen mit dem Stand am 23.9.1986 scheint die Zungenstirn leicht vorgerückt und fast über ihre ganze Breite als Abbruchwand ausgebildet zu sein (VAW - M. Aellen).

#### 111 Ammertén

**1989:** Der Gletscher hat das bucklige, im Vorjahr als Felsinseln zum Vorschein gekommene Gelände durch starken Schwund (bis 30 m) über Erwarten rasch freigegeben, was sich bei aufheiterndem Wetter trotz tiefem Neuschnee (50 cm im Vorgelände, 76 cm auf dem Gletscher) feststellen liess (E. Hodel).

#### 114 Plattalva

**1988:** Vermessungsflug am 28.9.1988. Bei geringer, teilweise abgeschmolzener Neuschneelage ist erkennbar, dass der Gletscher bis nahe an den Fuss der hinteren Karwand ausgeapert, das Zungenende merklich zurückgegangen ist (VAW - M. Aellen).

**1989:** Vermessungsflug am 25.8.1989. Der Gletscher ist an den Rändern sichtlich abgeschmolzen und sehr stark ausgeapert, die Winterschneedecke bis auf wenige, von älteren Firnschichten umsäumte Reste verschwunden. Eine vorläufige Schätzung ergibt für das Nährgebiet einen Anteil von etwa 1/8 der Gletscherfläche, wonach erfahrungsgemäss für die Gleichgewichtslinie und für den Massenhaushalt die in Tabelle 5.1 eingetragenen Werte zu erwarten sind (VAW - M. Aellen).

### 117 Valleggia

**1989:** La lingua del ghiacciaio termina nella vallata tra la morena di roccia e la montagna. Il suo fronte è molto nitido ma ripido e con una coltre di ghiaccio assai consistente (C. Valeggia).

### 118 Val Torta

**1988:** Ricoperto da oltre 20 cm di neve il fronte del ghiacciaio è già per se stesso difficile da definire, per cui non si sono effettuate le misure (C. Valeggia).

**1989:** Questo ghiacciaio non ha il fronte ben definito (ricoperto da detriti e nevaio) per cui risulta abbastanza difficile procedere ai rilievi. Il fronte registra un arretramento (di 2-85 m); pure il suo spessore è calato assai (C. Valeggia).

### 119 Cavagnoli

**1988:** Anche questo anno il fronte del ghiacciaio ha registrato un ragguardèvole ritiro. Si può anche notare una sporgenza di roccia dove termina il fronte (C. Valeggia).

**1989:** Le misurazioni rilevano che è regredito (di 0-32 m), come si può constatare dalle sporgenze rocciose che si notano lungo il fronte; d'altra parte, anche lo spessore è calato assai (C. Valeggia).

### 120 Corno

**1988:** Questo ghiacciaio si trova su un pendio assai ripido. Avanti ad esso c'è uno strato di ghiaccio ricoperto da detriti. Le condizioni climatiche avute durante il periodo estivo hanno sciolto uno strato di ghiaccio per cui risulta un ritiro medio di 1.5 m (C. Valeggia).

**1989:** Il fronte è progredito (di 3-5 m) nelle punti A e f, rigredito (di 0-14 m) nelle oltre punti (C. Valeggia).

### Cr Croslina (Campo Tencia)

**1989:** Questo ghiacciaio è stato aggiunto all'elenco in considerazione del fatto che è uno dei Ghiacciai più esposti a sud. E' un ghiacciaio con un bel fronte, di consistente volumetria. Qui ovviamente non si hanno termini di paragone, perchè le misurazioni sono cominciate soltanto quest'anno (C. Valeggia).

## 4. BILDTEIL

### 4.1 BILDFOLGE 1987/88

#### Bildlegenden

#### **Bilder 1 - 5: Fieschergletscher: Drittgrösster Alpengletscher stösst vor.**

Aufnahmen: M. Aellen, VAW.

- 1,2 Zungenende am 13.10.1986. Das Weisswasser entströmt zur Hauptsache dem schuttbedeckten Zungenlappen an der Ostseite (1), das Gletschertor mit verstürztem Eis führt verhältnismässig wenig Wasser (2).
- 3 Zungenende am 5.9.1987. Der Wasseraustritt an der Ostseite ist zurückversetzt ohne Tor, das alte Tor verschüttet.
- 4,5 Zungenende am 31.8.1988. Der Wasseraustritt an der Ostseite ist weiter zurückversetzt mit ausgeweitetem niederem Torgewölbe (4). Hingegen ist die steile Eiswand an der Westseite kräftig vorge-rückt (5).

#### **Bilder 6 und 7: Grosser Aletsch: Grösster Alpengletscher stösst noch nicht vor.**

Aufnahmen: M. Aellen, VAW.

Das Zungenende am 5.11.1988. Die schuttbedeckte Eiszunge endet rund 100 m hinter den Wasserfällen am Eingang der Massaschlucht (7). Schwach ausgeprägte Schuttwälle (Wintermoränen) im flachen Vor-gelände deuten an, wie der Schwund seit 1986 von Jahr zu Jahr nachgelassen hat. Abgesenkte Lamellen aus massivem (nicht verstürztem) Eis versperren das hausförmige Gletschertor (6); Grössenmass: mannshoher Personenschatten.

#### **Bilder 8 - 10: Findelengletscher:**

##### **Testbohrungen mit verbessertem Heisswasser-Tiefbohrgerät.**

Aufnahmen: M. Funk, VAW.

- 8,10 Schlauchwinde mit Motorenantrieb (8) und automatisch - durch Messung der Auslenkkraft am Bohrschlauch - geregelter Bremse (10). Sie gewährleistet beim Bohren mit Heisswasserstrahl einen gleichmässigen Lochdurchmesser und optimale Schnelligkeit (bis 250 m/Std. in den obersten 100 m, mit zunehmender Tiefe exponentiell abnehmend bei einem 11-12 cm grossen Bohrloch-durchmesser).
- 9 Gartenschwimmbecken in seltsamer Umgebung: bei Tiefbohrungen als Wasserspeicher und zum Schneeschmelzen zweckentfremdet.

**Bilder 11 und 12: Jakobshavn Gletscher (Westgrönland).**

Aufnahmen: M. Funk, VAW.

Von zahlreichen Schmelzwasserbächen durchflossenes spaltenfreies Gebiet in Gletschermitte, 45 km hinter der Kalbungsfront, in der Ansicht (11) und aus der Vogelschau (12). Dort hat eine Glaziologengruppe im Sommer 1988 (ebenso 1989) im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojekts der VAW/ETHZ mit der University of Alaska Bohrlöcher abgetieft, um Aufschluss zu erhalten über Fliessverhalten und Temperaturen des Eises im Innern des Gletschers und über die Bedingungen am Gletscherbett. Die tiefste Bohrung der Kampagne 1988 hat in 13 Stunden 1300 m erreicht.

Echolotungen mittels seismischer, durch Sprengungen in 2-3 m tiefen Bohrlöchern künstlich erzeugter Erschütterungen ergaben, dass das Eis in Gletschermitte etwa 2500 m dick ist, rund 1000 m dicker als erwartet. Im Sommer 1989 ist das Gletscherbett am Rand des subglazialen Taltrogs in Tiefen zwischen 1500 und 1630 m erbohrt worden.

**Bilder 13 und 14: Glacier de Corbassière: Tiefensondierungen.**

Aufnahmen: M. Funk, VAW.

- 13 Echolotungen mittels Radar, ausgeführt im Mai 1988 durch Glaziologen der VAW im Auftrag der Kraftwerke Mauvoisin, zeigten an, dass der Gletscher im Bereich der Panossièrehütte ein 200-250 m tiefes Trogtal und rund 1 km weiter unten bei Tsessette (nicht mehr im Bild) ein fast ebenso tiefes Kerbtal durchfließt.
- 14 Der Felsriegel am Zungenende wird vom Eis in enger Schlucht durchquert (rechts im Bild) oder seitlich überflossen.

## 4. ILLUSTRATIONS PHOTOGRAPHIQUES

### 4.1 PHOTOS 1987/88

#### *Légendes des illustrations*

**Photos 1 - 5: Glacier de Fiesch: Ce glacier, le troisième des Alpes par ses dimensions, commence enfin sa phase de crue.**

*Clichés: M. Aellen, VAW.*

1,2 *Front glaciaire le 13 octobre 1986. L'eau de la Weisswasser surgit principalement sur le côté oriental du lobe, recouvert de débris (1). Le portail glaciaire, partiellement écroulé, ne donne que peu d'eau (2).*

3 *Front glaciaire le 5 septembre 1987. La résurgence orientale a reculé, mais ne présente pas de portail. L'ancien portail est enseveli sous les débris rocheux.*

4,5 *Front glaciaire le 31 août 1988. La résurgence orientale a encore reculé, et une large voûte surbaissée est apparue (4). En revanche, sur le flanc ouest, la paroi de glace s'est redressée et a fortement avancé (5).*

**Photos 6 et 7: Le Grand glacier d'Aletsch: Le plus grand glacier des Alpes n'avance pas encore.**

*Clichés: M. Aellen, VAW.*

*L'extrémité de sa langue glaciaire, photographiée le 5 novembre 1988, est recouverte de cailloux et se termine 100 m en retrait des chutes marquant l'entrée de la gorge de la Massa (7). Les petits cordons morainiques à l'avant du glacier (moraines d'hiver) indiquent que son retrait a constamment diminué depuis 1986. Des lamelles de glace massive se sont abaissées (et non écroulées) et obstruent le portail glaciaire de forme rectangulaire (6). Les ombres de personnes humaines donnent un ordre de grandeur.*

**Photos 8 - 10: Glacier de Findelen: Forages d'essai exécutés avec un type amélioré de foreuse à eau bouillante.**

Clichés: M. Funk, VAW.

- 8,10 Ce dévidoir, actionné par un moteur et freiné automatiquement (8) par mesure de la force d'élongation s'exerçant sur le tuyau (10), assure, lors du forage au moyen d'un jet d'eau bouillante, un diamètre constant du puits et une vitesse optimale (jusqu'à 250 m/h sur les 100 premiers mètres, puis décroissant exponentiellement avec la profondeur). Le diamètre du forage est de 11-12 cm.
- 9 Cette piscine de jardin, démontable, a été transportée dans un environnement inhabituel; elle sert de réserve d'eau, obtenue par fusion de la neige, pour les forages en profondeur.

**Photo 11 et 12: Glacier de Jacobshavn (ouest du Groenland).**

Clichés: M. Funk, VAW.

A 45 km derrière le front de vêlage, le centre du glacier, qui ne présente aucune crevasse, est parcouru par de nombreux ruisseaux alimentés par l'eau de fusion (12, vue à vol d'oiseau; 11, vue générale). A cet endroit, un groupe de glaciologues, dans la cadre d'un projet de recherches commun aux VAW/EPFZ et à l'Université de l'Alaska, a procédé à des forages au cours des étés 1988 et 1989. Leur but est la collecte d'informations sur l'écoulement et la température de la glace au sein du glacier et sur les conditions caractérisant le lit glaciaire. Le forage le plus profond de la campagne de 1988 a atteint 1300 m en 13 heures.

Des écho-sondages, exécutés au moyen de secousses sismiques artificielles (explosions déclenchées dans des trous de 2-3 m de profondeur), ont indiqué une épaisseur de glace de 2500 m au centre du glacier (1000 m de plus que les estimations précédentes). Pendant l'été de 1989, les forages entrepris au bord de l'auge sous-glaciaire ont atteint la roche entre 1500 et 1630 m de profondeur.

**Photos 13 et 14: Glacier de Corbassière: sondages en profondeur.**

Clichés: M. Funk, VAW.

- 13 Les écho-sondages, exécutés en mai 1988 au moyen d'un radar par des glaciologues des VAW/EPFZ, à la demande des Forces motrices de Mauvoisin, ont révélé les profils du lit du glacier. Au droit de la cabane de panossière, cette vallée est en forme d'auge profonde de 200 à 250 m et, plus en aval, au voisinage de Tsessette, elle ressemble à une entaille d'égale profondeur.
- 14 Le front glaciaire traverse un verrou rocheux en remplissant de glace la gorge étroite qui y est creusée (à droite) ou en le submergeant par les côtés.

## 4.2 BILDFOLGE 1988/89

### Bildlegenden

**Bild 15: Giétrogletscher am 8. September 1989.**

Aufnahme: M. Aellen, VAW.

Schuh Tiefe Neuschneelagen bis an die Gletscherenden waren im Sommer 1989 keine Seltenheit; dennoch ist viel Eis abgeschmolzen.

**Bild 16: Steinlimmigletscher am 5. Juli 1989.**

Aufnahme: M. Aellen, VAW.

Der Eisrand, umsäumt mit Winterschnee, ist seit 1984 zurückgeschmolzen und zwar vom Scheitel bis zum Fuss der angelagerten Moränenwälle, die beim Vorstoss (rund 16 m) nach 1979 entstanden sind.

**Bilder 17 und 18: Steingletscher am 5. Juli 1989.**

Aufnahmen: M. Aellen, VAW.

Am Zungenende, das seit 1968 um rund 260 m ans Seeufer vorgerückt ist, ist eine Kalbungsfront entstanden (18). Im Sommer 1989 ist der Bach im verstürzten Gletschertor an der Westseite (17) versiegt, worauf ein neuer Bach am Ostrand der Zunge erschien.

**Bilder 19 - 24: Auslotung des Gletscherbetts auf dem Colle Gnifetti.**

Aufnahmen: G. Meier (19) und P. Gisler (20-24).

Bohrkerne aus den Firn- und Eisschichten am Colle Gnifetti, die an verschiedenen Hochschulen untersucht werden, geben Aufschluss über Klima- und Umweltveränderungen im Alpenraum während der letzten Jahrtausende (vgl. 97. Bericht, 1975/76). Um die Ergebnisse der Bohrkernuntersuchungen richtig deuten zu können, muss die Verformung der Schichten durch Setzen und Fließen von Firn und Eis im Bereich der Bohrstelle bekannt sein. Das setzt voraus, dass die Topographie des Gletscherbetts und die Bewegungsverhältnisse an der Oberfläche bekannt sind. Zu diesen Zwecken hat eine Forschergruppe der ETH Zürich im August 1989 einen Stollen gegraben und mit hochempfindlichem Radargerät Echolotungen vorgenommen. Bewegungsmessungen an Pegelstangen werden seit Jahren durchgeführt.

- 19-21 Colle Gnifetti (4452 m) und Signalkuppe (4554 m) mit Capanna Margerita und Sondierstollen im Firnhang oberhalb des zugeschneiten Bergschrunds (19). Der Stollen zur Entnahme von Schnee- und Firnproben, zum Messen der Setzung und Verformung der Schichten im Steilhang hat unter jungen Schnee- und Firnlagen bereits nach 5 m Vortrieb unerwartet wenig Eis und den Felsuntergrund angefahren (21). Er ist mit einer Türe verschlossen (20), um Messungen über einige Jahre weiterzuführen.
- 22-24 Zweiteiliges, auf Skischlitten montiertes Echolot (Sender mit breiter, Empfänger mit schmaler Blechantenne), gesichert am Stahlseilgerät (22) für die Radarsondierungen am Steilhang unterhalb der Hütte (23). Velorad als Distanzmesser am Empfänger, im Hintergrund Pegelstangen zum Erfassen der Gletscherbewegung (24).

### **Bilder 25 und 26: 75 Jahre Clariden-Firnmessungen.**

Aufnahmen: M. Aellen, VAW.

Seit 1914 wird der jährliche Firnzuwachs an 2 Pegelstangen auf dem Claridenfirn in den Glarner Alpen gemessen. Am 19. September 1989 hat eine Jubiläumsbegehung stattgefunden (25). Die Höhe der Zuwachsschicht wird an der Stange gemessen, die Dichte und der Wasserwert durch Wägen kalibrierter, aus der aufgegebenen Schicht ausgestochener Schneeproben ermittelt (26).

### **Bilder 27 - 30: Gletscherkalbungen in Südgrönland.**

Aufnahmen: M. Funk, VAW.

Um verlässliche Aussagen über die Einwirkung künstlich gestauter Seen auf überflutete Gletscherzungen machen zu können und um Vergleichsgrößen zu beschaffen für die Wasserbauer, die diesen Vorgang in verkleinertem Massstab (1:250) im Modell nachbilden, haben Glaziologen der ETH Zürich im Sommer 1989 und 1990 das Entstehen der Eisberge (30) im Nordbosee (660 m) am Fuss der Walhaltinde (1650 m) in Johan Dahl Land beobachtet (27). Die Kalbungsfront am Nordbogletscher ist mit 2 automatischen Kameras alle 3 Tage photographisch, durch Vermessen am Boden (28) einmal im Sommer geodätisch aufgenommen worden. Die helle Unterseite abgeschalter Granitplatten eignet sich auf dunkler flechtenbestandener Felsoberfläche als Passpunkt (29) für die Luftbildvermessung.

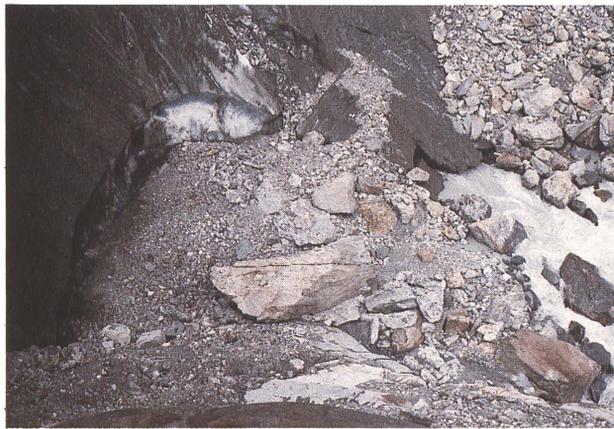
1



2



3



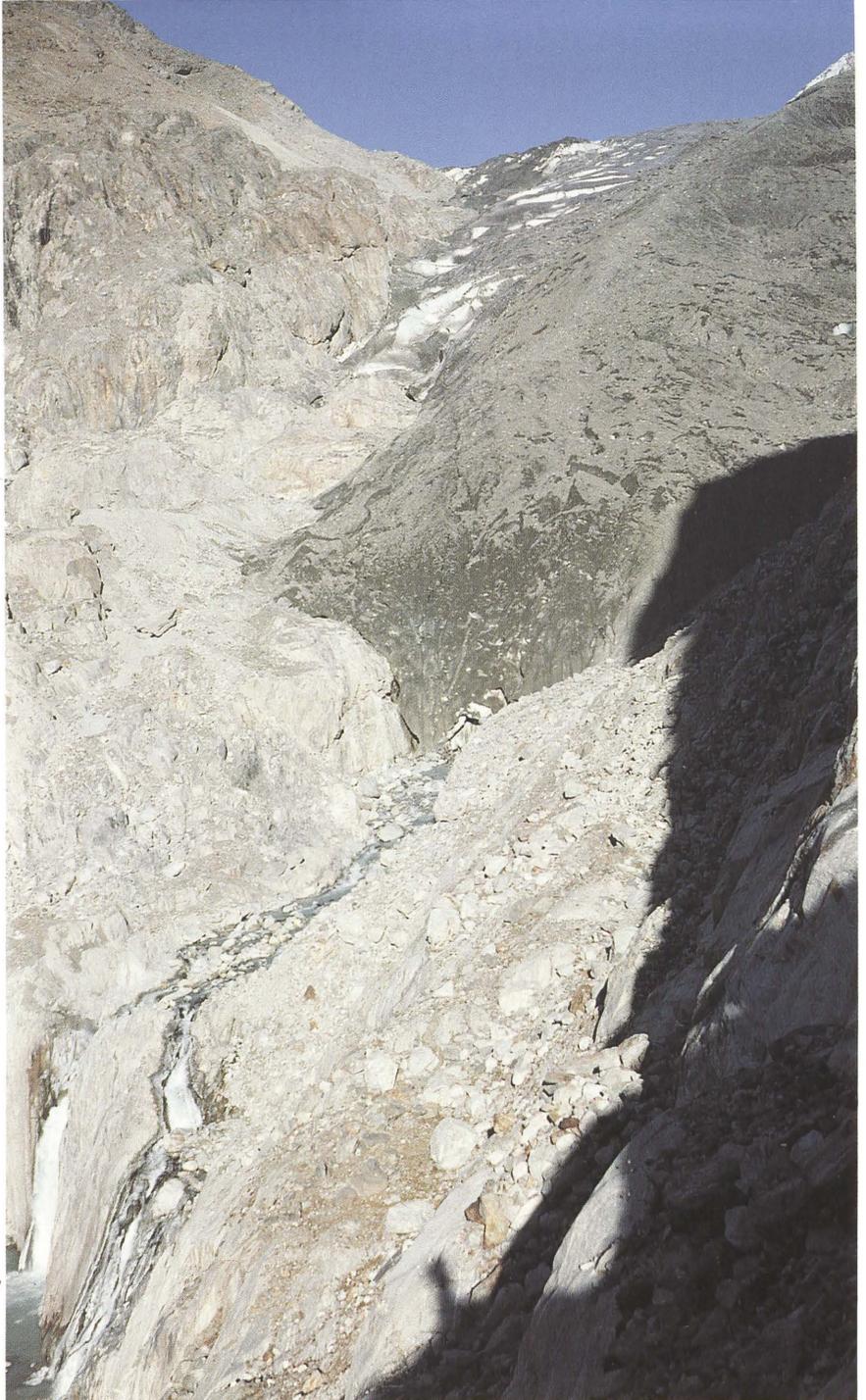
4



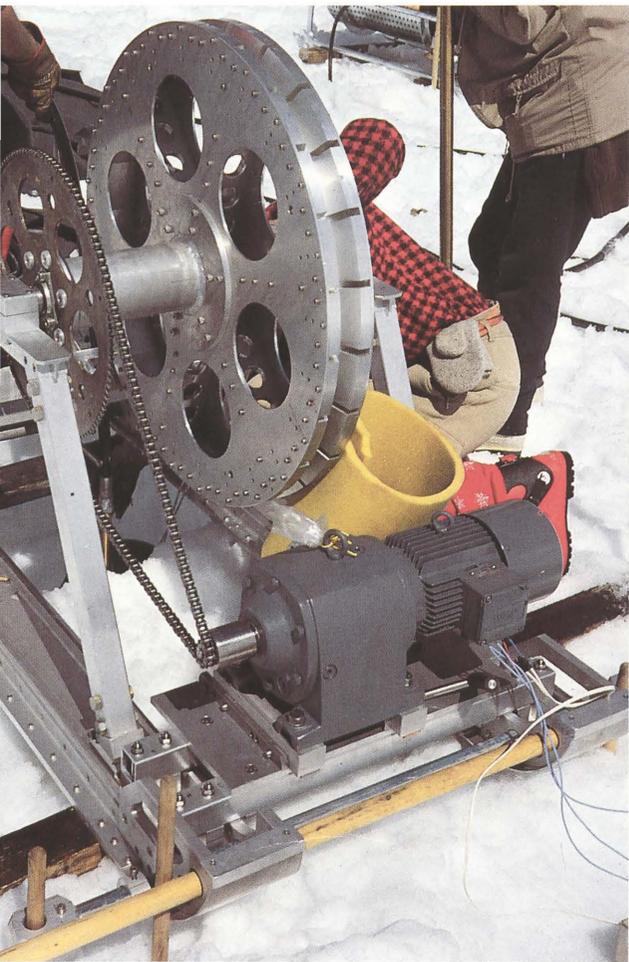
5

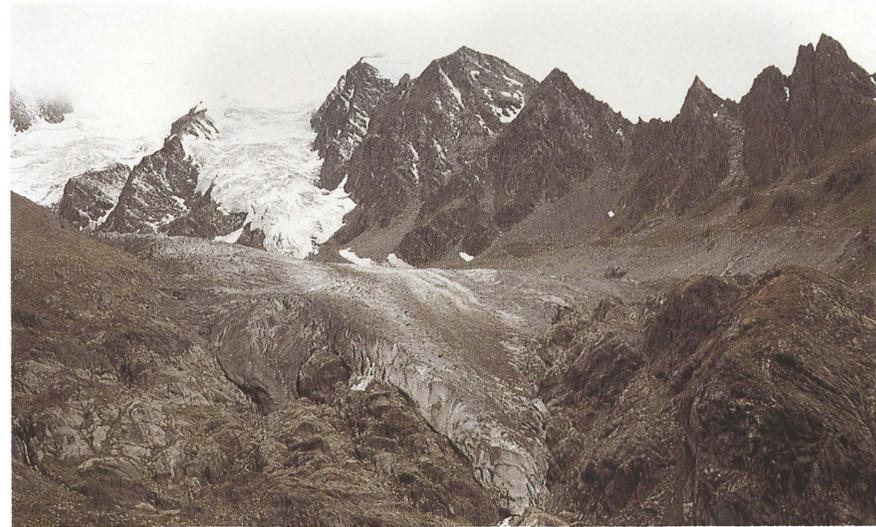
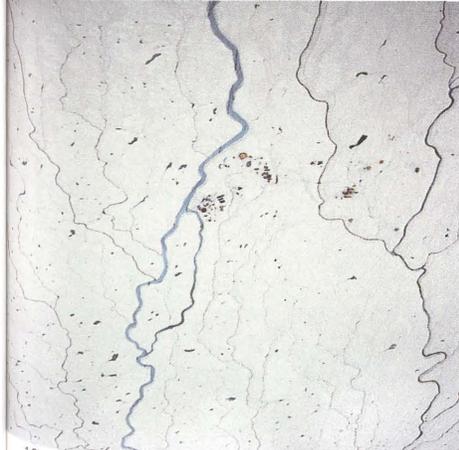


6



7









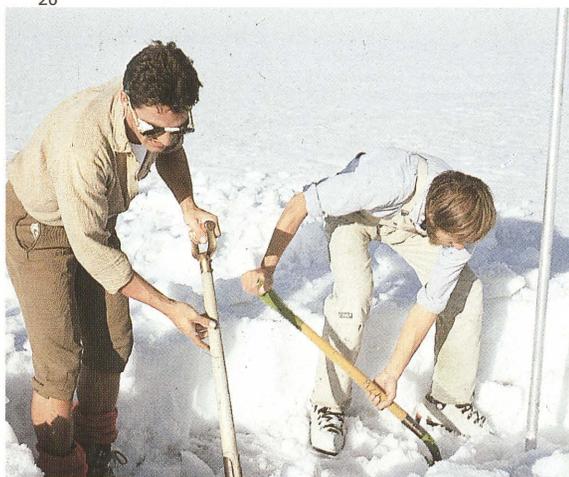






24

26



25



27



28



29



## 4.2 PHOTOS 1988/89

### *Légendes des illustrations*

**Photo 15: Glacier de Giétro, le 8 septembre 1989.**

Cliché: M. Aellen, VAW.

*Malgré les chutes occasionnelles de neige fraîche jusqu'au bas des glaciers, l'ablation de la glace s'est révélée très active pendant l'été 1989.*

**Photo 16: Glacier de Steinlimmi, le 5 juillet 1989.**

Cliché: M. Aellen, VAW.

*Le front glaciaire, encore bordé de neige de l'hiver précédent, s'est retiré depuis 1984 du sommet jusqu'au pied du vallum morainique qui s'était formé lors de l'avance de 16 m du glacier survenue après 1979.*

**Photos 17 et 18: Glacier de Stein, le 5 juillet 1989.**

Clichés: M. Aellen, VAW.

*Depuis 1988, le glacier a progressé de 260 mètres environ jusqu'au bord du lac, en formant un front de vélage (18). Au cours de l'été 1989, un éboulement du portail glaciaire situé sur le bord occidental (17) a obstrué le torrent, qui est réapparu sur le bord oriental de la langue.*

**Photos 19 - 24: Echosondages du lit du glacier du col de Gnifetti.**

Clichés: G. Meier (19) et P. Gisler (20-24).

*Effectué par plusieurs hautes écoles, l'examen de carottes de névé et de glace, prélevées au col de Gnifetti, a livré des indications sur les modifications du climat et de l'environnement survenues dans le massif alpin pendant ces derniers millénaires (cf. 97e rapport, 1975/76). Pour l'interprétation correcte de l'analyse de ces échantillons, une bonne connaissance de la déformation des strates par tassement et écoulement du névé et de la glace au voisinage du point de forages est indispensable. Cela présuppose donc que la topographie du lit glaciaire et les conditions du mouvement de la glace en surfaces soient connues. C'est dans ce but qu'en août 1989, un groupe de chercheurs de l'EPF de Zurich a creusé une galerie et procédé à des échosondages au moyen d'un radar très sensible. Quant aux mesures du mouvement de la glace, elles sont effectuées depuis des années au moyen de jalons.*

19-21 *Le col de Gnifetti (4452 m), la Signalkuppe (4554 m), la Capanna Margherita et la galerie de sondage creusée dans la pente abrupte du névé, surplombant la rimaye encore enneigée (19). Lors du creusement de cette galerie, nécessaire au prélèvement d'échantillons destinés à la mesure du tassement et de la déformation des couches très inclinées de neige et de névé, on a atteint une mince couche de glace, puis le rocher, après 5 m seulement de progression dans les dépôts nivaux récents (21). Fermée par une porte, elle pourra être utilisée pendant plusieurs années (20).*

22-24 *Echosondeur comprenant deux parties distinctes, montées sur un traîneau équipé de skis (l'antenne large est celle de l'émetteur, l'étroite, celle du récepteur). Il est retenu par un dévidoir et un câble en acier (22). Les échosondages sont exécutés sur la pente très raide, située au-dessous de la cabane (23). La roue de bicyclette adaptée au récepteur sert à mesurer les distances. A l'arrière-plan, on distingue les jalons utilisés pour la mesure du mouvement du glacier (24).*

**Photos 25 et 26: 75 ans de mesures du névé des Clariden.**

Clichés: M. Aellen, VAW.

*Depuis 1914, l'accroissement annuel du névé des Clarides (Alpes glaronaises) est estimé au moyen de deux jalons. Une excursion commémorative a rappelé cet anniversaire le 19.9.1989 (25). On mesure le long de la perche l'épaisseur de la strate d'accroissement, tandis que sa densité et sa valeur en eau sont déterminées par pesage de carottes de neige prélevées dans la couche mise à jour (26).*

**Photos 27 - 30: Fronts de vélages au sud du Groenland.**

Clichés: M. Funk, VAW.

*Les hydrauliciens ont besoin de données précises sur les effets que provoque l'inondation de langues glaciaires lors de la création de lacs artificiels. En outre, ils doivent disposer de coefficients de comparaison pour la reproduction en maquette (échelle au 1:250e) de ces phénomènes. C'est pourquoi des glaciologues de l'EPF de Zurich sont allés observer, pendant l'été de 1989, la formation des icebergs (30) dans le lac de Nordbo (660 m), au pied du Walhåltinde (1650 m, Terre de Johan Dahl; 27). Le front de vélage du glacier de Nordbo est photographié tous les trois jours au moyen de deux caméras automatiques et l'on a procédé à son levé géodésique au cours de l'été par des mesures sur le terrain (28). Lors de la mensuration par prises de vue aériennes, on a utilisé comme point de repère les taches claires de plaques de granite retournées, qui se distinguent bien de la teinte grise foncée des surfaces rocheuses recouvertes de lichens (29).*

## 5. MASSENHAUSHALT

### 5.1 EINLEITUNG

In Tabelle 5.1 sind die von der VAW für die Gletscher in 4 Flusseinzugsgebieten bestimmten Haushaltszahlen der Berichtsjahre zusammengestellt. Die gesamte Massenänderung entspricht dem Gewinn oder Verlust an Eisvolumen in der Messperiode, die spezifische Massenänderung der Dicke der Schicht, die sich ergäbe, wenn dieser Gewinn oder Verlust als Wasser gleichmässig über den ganzen Gletscher verteilt würde. Als spezifische Massenänderung sind die Ergebnisse der Haushaltsbestimmungen an verschiedenen Gletschern direkt vergleichbar. Dies gilt in der Regel selbst dann, wenn die Messperioden nicht genau übereinstimmen.

In Tabelle 5.2 sind die Massenänderungen der Gletscher in drei verschiedenen grossen und in unterschiedlichem Ausmass vergletscherten Einzugsgebieten dargestellt als Teilgrössen des natürlichen Wasserhaushaltes in den betreffenden Abflussbecken. Dabei werden die beiden Hauptkomponenten Niederschlag und Abfluss (bei Gries: Reservenänderung und Abfluss) anhand von Messungen geschätzt, um daraus unter Annahme eines invarianten Verdunstungsbetrags die Reservenänderung (bei Gries den Niederschlag) als weitere Hauptkomponente zu ermitteln. Andere Komponenten werden in dieser vereinfachten Haushaltsrechnung nicht in Betracht gezogen.

Abbildung 5.1 gibt einen Einblick in den zeitlichen Verlauf des Wasserhaushalts im Einzugsgebiet der Massa während der Haushaltsjahre 1987/88 und 1988/89. Ausgehend von den publizierten Werten der täglich gemessenen Niederschlags- und Abflussmengen [SMA, 1987-89b; LHG, 1987-89] sind für diese Jahre die Tagesbilanzen berechnet (Abb. 5.1a). Dabei ist die invariant angenommene Verdunstungsrate ( $210 \text{ kg/m}^2$ ) gleichmässig auf die Monate verteilt und innerhalb der Monate in gleichgrossen Tagesraten (je  $1 \text{ kg/m}^2$ ) den niederschlagsärmsten Tagen zugewiesen. Aus den Extremwerten, welche die fortlaufende Summe der täglichen Reservenänderungen im Frühjahr (Maximum) und im Herbst (Minimum) erreicht, ergibt sich die Gliederung in klimabedingte Haushaltsperioden, die nicht an feste Kalenderdaten gebunden sind. In Abbildung 5.1b sind die Mittelwerte, Standardabweichungen und Extremwerte angezeigt, die aus den Tageswerten der Periode 1931-1987 berechnet sind.

Die Angaben über den Jahresgang der Änderung der Wasserreserven im Einzugsgebiet der Rhone oberhalb des Genfersees sind aufgrund von Monatswerten in der Abbildung 5.2 graphisch dargestellt. Die Berechnungsmethode ist in Kapitel 6.2 des 97./98. Berichts (1975/76 und 1976/77) [Kasser, 1983] beschrieben.

Für die Gletscher **Gries** und **Silvretta** ist die höhenmässige Verteilung der Massenänderung in den Haushaltsperioden 1987/88 und 1988/89 als Wasserwert der gesamten und der spezifischen Änderung in jeder Höhenstufe (Tab. 5.3 und 5.4) angegeben. Für Silvretta ist zudem die entsprechende - im letzten Jahrbuch unvollständig ausgedruckte - Tabelle für 1985/86 und 1986/87 wiedergegeben.

Die luftphotogrammetrisch bestimmten jährlichen Veränderungen der **Aaregletscher** (Kap. 5.4) vom 29. August 1987 bis zum 15. August 1989 sind in den Tabellen 5.5 und 5.6 zusammengefasst.

Kapitel 5.5 mit den Tabellen 5.7 bis 5.12 enthält die Ergebnisse der Beobachtungen, die in den Jahren 1987/88 und 1988/89 über den Firnzuwachs auf den Gletschern **Clariden**, **Silvretta**, **Jungfraufirn** und im **Engadin** gemacht worden sind. Diese Beobachtungen sind z.T. seit 1913 im Gang.

## 5.2 MASSENÄNDERUNG 1987/88

Massgebend für den Massenhaushalt der Gletscher im Berichtsjahr sind im wesentlichen der Schneezuwachs im März, der späte Beginn der Schneeschmelze im Hochgebirge, die langen Wärmeperioden mit sehr intensiver Schmelzung im Hochsommer, die seltenen und kurzen Unterbrüche der Schmelzung durch Kälteperioden. Bei allen beobachteten Gletschern ist im Sommer 1988 mehr Masse abgetragen worden als im vorangegangenen Winter zugelegt worden war. Entsprechend dem Verhältnis zwischen dem ungleichmässig verteilten überdurchschnittlichen Schneezuwachs und der allgemein überaus starken Abschmelzung sind im Süden grössere, im Norden kleinere Mengen älterer Rücklagen aufgebraucht worden.

Am **Griesgletscher** z.B. ist anfangs Juni ein Schneezuwachs von 3.6 m Schichtdicke (Wasserwert 185 cm) gemessen worden, rund 60 % mehr als im Durchschnitt der 27 Winter seit 1961. Die Jahresbilanz über (Netto-)Zuwachs im Nährgebiet und (Netto-)Abtrag im Zehrgebiet vom Herbst 1987 zum Herbst 1988 ergibt einen Massenschwund um rund 8 Millionen m<sup>3</sup> Eis, oder - umgerechnet - eine durchschnittliche Dickenabnahme um rund 1.2 m Schichtdicke (Wasserwert 109 cm). Der mittlere jährliche Schwund seit 1961 entspricht einer Dickenabnahme um rund 0.21 m/Jahr (Wasserwert 19 cm/J.). In dieser Messreihe sind nur vier Jahre mit ähnlich starkem Schwund zu finden (1971: 97 cm, 1973: 105 cm, 1976: 99 cm und 1985: 121 cm Wasserwert).

Bei den Haushaltsgletschern des nördlichen Alpengebiets (**Aletsch, Limmern, Plattalva, Silvretta**) ergab die Jahresbilanz durchwegs Massenverluste wesentlich geringeren Ausmasses (20-60 cm Wasserwert). Aus Berechnungen über den täglichen Wasserhaushalt im Einzugsgebiet der Massa, dessen Fläche zu rund zwei Dritteln durch die Aletschgletscher belegt ist, geht hervor, dass die Dauer der winterlichen Zuwachsperiode (245 Tage) wie die der sommerlichen Schwundperiode (119 Tage) und die des Haushaltsjahrs (364 Tage) von den Normalwerten der Periode 1931/87 wenig abweicht. Die zugehörigen Termine (10.10.1987, 11.6.1987 und 8.10.1988) sind mehr oder weniger verspätet: 5 Tage im Herbst 1987, 10 Tage im Frühling und 3 Tage im Herbst 1988.

Eine Besonderheit des Berichtsjahrs, abgesehen vom allgemein sehr grossen, durch übernormalen Zuwachs im Winter und weit übernormalen Schwund im Sommer bewirkten Massenumsatz, ist bei einzelnen Gletschern das Auftreten ungewöhnlicher Schneeumlagerungen durch die Lawinen im Frühjahr.

### 5.3 MASSENÄNDERUNG 1988/89

Die regionalen Unterschiede im Klima des Berichtsjahrs kommen im Massenhaushalt der Gletscher sehr deutlich zum Vorschein. Für die Jahresbilanz massgebend waren im wesentlichen unterschiedlich grosse Summen des Schneezuwachses im Winter und des Schnee-, Firn- und Eisabtrags im Sommer, die je nach Region mehr oder weniger über dem normalen Wert lagen. Der Schneezuwachs übertraf den Normalwert im Norden mehr als im Süden. Umgekehrt war das Übermass des Abtrags im Süden grösser als im Norden. Bei allen beobachteten Gletschern wurde im Sommer 1989 mehr Masse abgetragen als im vorangegangenen Winter zugelegt worden war. Dementsprechend sind im Süden grosse, im Norden geringe Mengen der Rücklagen aus früheren Jahren aufgezehrt worden.

Am **Griesgletscher** wurde anfangs Juni ein Schneezuwachs von 2.7 m Schichtdicke (Wasserwert 131 cm) gemessen, rund 15 % mehr als im Durchschnitt der 28 Winter seit 1961. Die Jahresbilanz über Firnzuwachs im Nährgebiet und Eisabtrag im Zehrgebiet vom Herbst 1988 zum Herbst 1989 ergab einen Schwund um rund 7 Millionen m<sup>3</sup> Eis, was einer Absenkung der Gletscheroberfläche um durchschnittlich 1.1 m Eisdicke (Wasserwert 103 cm) gleichkommt. Im Mittel der 28 Haushaltsjahre seit 1961 schmolz pro Jahr eine 23 cm dicke Eisschicht (Wasserwert 21 cm) ab. Die extremen Schwundjahre dieser Messreihe sind 1985, 1988, 1973 und das Berichtsjahr mit Absenkungen (in der gleichen Reihenfolge) um 121, 109, 105 und 103 cm Wasserwert.

Für die Haushaltsgletscher des nördlichen Alpengebiets wurden im Berichtsjahr durchwegs geringere Massenverluste ermittelt. Als Wasserhöhe auf die ganze Gletscherfläche verteilt, entsprechen diese Verluste den folgenden Absenkungen: **Aletsch** 19 cm, **Limmern** 30 cm, **Plattalva** 75 cm und **Silvretta** 25 cm. Die Bilanzrechnungen über den täglichen Wasserhaushalt im Einzugsgebiet der Massa, dessen Fläche (195 km<sup>2</sup>) zu rund zwei Dritteln durch die **Aletschgletscher** belegt ist, ergeben für die Zuwachsperiode (5.10.1988 - 15.5.1989) eine Dauer von 222 Tagen und einen als Wasserwert auf die ganze Fläche des Einzugsgebiets verteilten Zuwachs der gespeicherten Wassermenge um 133 cm, für die Schwundperiode (16.5. - 5.10.1989) eine Dauer von 144 Tagen und einen Abtrag um 145 cm. Die Dauer des Bilanzjahrs (366 Tage) und das Ergebnis der Jahresbilanz (Schwund um 12 cm) stimmen fast genau überein mit den Durchschnittswerten der 56 Bilanzjahre vom 1. Oktober 1931 bis 30. September 1987 (Dauer 365 Tage, Schwund 14 cm/Jahr). In dieser Zeitspanne dauerte der Winter im Mittel 239 Tage (6. Oktober - 1. Juni) und erzeugte einen Zuwachs um 101 cm. Der Sommer dauerte 126 Tage (2. Juni - 5. Oktober) und erzeugte einen Schwund um 115 cm. Schreibt man die jährliche Verminderung der Wasserreserven im Massengebiet um jährlich 14 cm dem Gletscherschwund zu, ergibt sich eine Absenkung der Gletscheroberfläche um durchschnittlich 24 cm Eisdicke.

## 5. BILANS DE MASSE

### 5.1 INTRODUCTION

*Le tableau 5.1 contient les résultats des bilans de masse établis par les VAW pour les glaciers de 4 bassins versants. Le bilan total indique le gain ou la perte en volume de glace. Le bilan spécifique représente l'épaisseur de la couche d'eau que produirait ce gain ou cette perte réparti(e) sur la surface totale du glacier. Le bilan spécifique permet de comparer directement les résultats obtenus pour les différents glaciers, même dans des cas, où les périodes de bilan ne sont pas strictement identiques.*

*Le tableau 5.2 donne les bilans hydrologiques, établis pour trois bassins versants de différentes surface totale et part englacée. Les bilans sont calculés en dérivant l'une des composantes, la variation de la masse glaciaire (pour Gries: les précipitations), à partir des mesures du débit et des précipitations (pour Gries: du débit et des variations de la masse glaciaire), en admettant une valeur invariable de l'évaporation et en négligeant d'autres composantes.*

*L'évolution du régime hydrologique au cours des années de bilan 1987/88 et 1988/89 est représentée par les graphiques de la figure 5.1, qui révèlent les fluctuations des réserves en eau dans le bassin versant de la Massa. Les valeurs journalières publiées des débits [LHG, 1987-1989] et des précipitations [SMA, 1987-1989b] ont permis d'établir des bilans quotidiens (fig. 5.1a), qui sont représentés par les sommes cumulatives (fig. 5.1b). Dans ces bilans, l'évaporation est supposée être invariable de l'ordre de 210 kg/m<sup>2</sup> par an, soit de 17 ou 18 kg/m<sup>2</sup> par mois. Ces mensualités ont été réparties en quote-parts égales de 1 kg/m<sup>2</sup> sur les jours sans précipitations ou de pluviosité faible. En cumulant les variations journalières des réserves en eau, on obtient les valeurs extrêmes maximales (au printemps) et minimales (en automne), qui marquent le début ou la fin des périodes de bilan indépendantes des dates fixes du calendrier, car elles sont définies suivant le cycle annuel des conditions climatiques. A titre de comparaison, on a indiqué dans la figure 5.1b les valeurs moyennes, les écarts standardisés et les valeurs extrêmes, qui ont été déterminées à partir des données journalières de la période 1931-1987.*

*Le régime du bassin versant du Rhône à l'amont du Lac Léman est documenté par la figure 5.2, qui reflète les fluctuations mensuelles des réserves en eau que l'on a déterminé selon la méthode décrite dans le chapitre 6.2 des 97<sup>e</sup>/98<sup>e</sup> rapports (1975/76 et 1976/77) [Kasser, 1983].*

*Pour les glaciers de Gries et Silvretta, on a établi les bilans de masse total et spécifique en fonction de l'altitude. Les résultats obtenus pour les années 1987/88 et 1988/89 dans les intervalles équidistants sont indiqués par leur valeur équivalente en eau (tabl. 5.3 et 5.4). Pour Silvretta, on a reproduit le tableau des années 1985/86 et 1986/87 (incomplet dans l'annuaire précédent).*

*Les variations annuelles des glaciers de l'Aar, déterminées par restitutions aérophotogrammétriques, sont résumées dans les tableaux 5.5 et 5.6 pour la période du 30 août 1987 au 29 août 1989.*

*Dans le chapitre 5.5 avec les tableaux 5.7 à 5.12 nous présentons les résultats des observations faites, en 1987/88 et 1988/89, sur l'accumulation aux névés des glaciers de Clariden, de Silvretta, du Jungfraufirn et dans l'Engadine. En partie, ces observations ont commencé en 1913 déjà.*

## **5.2 BILAN DE MASSE 1987/88**

*De la période examinée, on retiendra en particulier un accroissement nival important en mars, un retard de la fonte des neiges en haute montagne, ainsi qu'une ablation très intense pendant les longues séquences chaudes de l'été, rarement et brièvement interrompues par des retours de froid. Pour tous les glaciers observés, la masse de glace perdue en été 1988 est plus élevée que celle qui a été accumulée pendant l'hiver précédent. En fonction du rapport entre la répartition irrégulière de l'accroissement nival extraordinaire de l'hiver et la forte et générale ablation estivale, les anciennes réserves ont été entamées plus fortement au sud qu'au nord.*

*Au glacier de Gries, par exemple, on a mesuré début juin un accroissement de 3.6 m de l'épaisseur de la couche de neige (valeur en eau: 185 cm), ce qui correspond à 60 % de plus que la moyenne calculée sur 27 hivers depuis 1961. Le bilan annuel (automne 1987 à automne 1988) entre les gains et pertes nets des zones d'alimentation et d'ablation donne une diminution de masse de 8 millions de m<sup>3</sup> de glace, soit une variation d'épaisseur moyenne de 1.2 m (valeur en eau: 109 cm). La perte annuelle moyenne depuis 1961 s'élève à une lame de glace de 0.21 m (valeur en eau: 19 cm). Seules quatre années de cette période de mesure, 1971, 1973, 1976 et 1985 annoncent des bilans négatifs presque aussi élevés (valeurs en eau respectives: 97, 105, 99 et 121 cm).*

*Pour les glaciers des Alpes septentrionales (Aletsch, Limmern, Plattalva et Silvretta), les résultats de cet exercice montrent des pertes nettement plus faibles (20-60 cm de valeur en eau). Les calculs du bilan hydrologique journalier du bassin versant de la Massa, occupé aux deux tiers par les glaciers d'Aletsch, indiquent que la durée de l'accroissement hivernal (245 jours), celle de l'ablation estivale (119 jours) et celle de l'exercice (364 jours), diffèrent peu de la moyenne des années 1931 à 1987. Les dates de début et de fin de chaque période (10.10.1987, 11.6. et 8.10.1988) sont légèrement retardées: 5 jours en automne 1987, 10 jours au printemps et 3 jours en automne 1988.*

*Hormis les transferts de masse très importants causés par les conditions météorologiques particulières, une autre caractéristique de l'exercice 1987/88 est l'accumulation inhabituelle, sur certains glaciers, de grosses quantités de neige par les avalanches de printemps.*

### 5.3 BILAN DE MASSE 1988/89

*Les différences régionales des conditions climatiques de l'exercice 1988/89 apparaissent nettement dans le bilan de masse des glaciers. Les valeurs élevées de l'accroissement du manteau neigeux hivernal et de la fusion estivale de la neige, des névés et de la glace, caractérisent cette année hydrologique. Pour l'accroissement nival, les écarts positifs sont plus importants au nord qu'au sud, tandis que c'est le contraire pour l'ablation. Pour tous les glaciers observés, la masse de glace perdue en été 1989 est plus élevée que celle qui a été accumulée pendant l'hiver précédent. Il en résulte que les réserves des années antérieures ont été nettement plus entamées au sud qu'au nord.*

*Au glacier de Gries, par exemple, on a mesuré, début juin, un accroissement de 2.7 m de l'épaisseur de la couche de neige (valeur en eau: 131 cm), ce qui correspond à 15 % de plus que la moyenne calculée depuis 1961. Le bilan annuel (automne 1988 à automne 1989) entre les gains et pertes nets des zones d'alimentation et d'ablation donne une diminution de masse de 7 millions de m cubes de glace, soit un abaissement moyen de 1.1 m de la surface du glacier (valeur en eau: 103 cm). La perte annuelle moyenne, calculée sur 28 exercices depuis 1961, s'élève à une lame de glace de 23 cm (valeur en eau: 21 cm). Les années d'ablation maximale de cette période de mesure sont 1985, 1988, 1973 et le présent exercice, avec des abaissements correspondant aux valeurs en eau respectives: 121, 109, 105 et 103 cm.*

*Pour les glaciers des Alpes septentrionales, dont on calcule le bilan, cet exercice se signale par des pertes nettement plus faibles. Elles atteignent les valeurs en eau suivantes, réparties sur la totalité de la surface de chaque glacier: 19 cm pour celui d'Aletsch, 30 cm pour celui de Limmern, 75 cm pour celui de Plattalva et 25 cm pour celui de la Silvretta. Les calculs du bilan hydrologique journalier du bassin versant de la Massa, dont la surface (195 km<sup>2</sup>) est occupée aux deux tiers par les glaciers d'Aletsch, indiquent que la durée de l'accroissement hivernal (222 jours, du 5.10.1988 au 15.5.1989; gain moyen de 133 cm de valeur en eau), celle de l'ablation estivale (144 jours, du 16.5. au 5.10.1989; perte moyenne de 145 cm) et celle de l'exercice complet (366 jours; résultat du bilan annuel: perte de 12 cm) diffèrent très peu de la moyenne des 56 bilans hydrologiques compris entre le 1er octobre 1931 et le 30 septembre 1987 (365 jours et perte de 14 cm/an). Pendant cette période, l'hiver a duré en moyenne 239 jours (6 octobre-1er juin) et donné un accroissement de 101 cm; l'été a connu une ablation de 115 cm sur 126 jours (2 juin-5 octobre). Aux 14 cm de diminution annuelle des réserves en eau du bassin versant de la Massa correspondent donc 24 cm d'abaissement moyen des surfaces glaciaires.*

Tabelle 5.1: Massenänderung 1987/88 und 1988/89

Tableau 5.1: Bilans de masse 1987/88 et 1988/89

Gletscher	Haushaltjahr oder Messperiode		Gletscherfläche <sup>1)</sup> [km <sup>2</sup> ]	Massenänderung		Gleichgewichtslinie [m ü.M.]
	vom	bis		gesamt <sup>2)</sup> B <sub>a</sub> * [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	spezifisch <sup>3)</sup> b <sub>a</sub> [cm]	
Gries	21.9.87	21.9.88	6.317 1a)	- 7.660 4)	- 109 4)	3231 4)
	21.9.88	27.9.89	6.314 1b)	- 7.229 4)	- 103 4)	3186 4)
Aletsch	1.10.87	30.9.88	127.46 1c)	- 48.68	- 35	3120 5)
	1.10.88	30.9.89	127.43 1d)	- 26.90	- 19	3060 5)
Limmern	14.9.87	28.9.88	2.52 1e)	- 0.616 6)	- 22 6)	2780 6)
	28.9.88	25.8.89	2.52 1e)	- 0.863 6)	- 30 6)	2870 6)
Plattalva	14.9.87	28.9.88	0.86 1e)	- 0.296 6)	- 31 6)	2850 6)
	28.9.88	25.8.89	0.86 1e)	- 0.717 6)	- 75 6)	2920 6)
Silvretta	14.9.87	27.9.88	3.15 1f)	- 2.044 4)	- 58 4)	2884 4)
	27.9.88	20.9.89	3.15 1f)	- 0.857 4)	- 25 4)	2792 4)
<i>Glacier</i>	<i>Année ou période du bilan</i>		<i>Surface glaciaire<sup>1)</sup></i>	<i>Bilan de masse</i>		<i>Ligne d'équilibre</i>
	<i>du</i>	<i>au</i>	[km <sup>2</sup> ]	<i>total<sup>2)</sup></i> B <sub>a</sub> * [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	<i>spécifique<sup>3)</sup></i> b <sub>a</sub> [cm]	[m s.m.]

- 1 Geschätzter Wert am - *Valeur estimée le:* a) 21.9.1988 b) 20.9.1989 c) 5.11.1988 d) 2.12.1989  
Gemessener Wert am - *Valeur mesurée le:* e) 15.9.1977 f) 12.9.1973
- 2 Gesamter Zuwachs oder Abtrag, berechnet als Eisvolumen mit einer mittleren Dichte von 0.9g/cm<sup>3</sup>. Für Aletsch abgeleitet aus der hydrologischen Bilanz des Einzugsgebietes Massa/Blatten bei Naters (Tab. 5.2), für die übrigen Gletscher ermittelt aus glaziologischen Messungen oder aus Luftbildaufnahmen und Erfahrungswerten (Fussnoten 4 und 6).  
*Valeurs absolues des gains ou des pertes de masse, exprimées en volume de glace, en admettant une densité moyenne de 0.9 g/cm<sup>3</sup>. Pour Aletsch, elles sont dérivées du bilan hydrologique du bassin versant de la Massa/Blatten près de Naters (tabl. 5.2); pour les autres glaciers, elles sont déterminées à partir de mesures glaciologiques ou à partir de clichés aériens et de données statistiques (remarques 4 et 6).*
- 3 Gleichmässig über den Gletscher verteilter Zuwachs oder Abtrag. Der Eismenge 1 g/cm<sup>2</sup> entspricht eine Wassersäule von 1 cm Höhe. - *Gain (ou perte) total(e) réparti(e) sur la surface entière du glacier. Une masse de glace de 1 g/cm<sup>2</sup> équivaut à 1 cm en hauteur d'eau.*
- 4 Mittels statistischer Verfahren aus den Messungen am Pegelnetz ermittelte Werte. - *Valeurs déterminées par calculs statistiques à partir des mesures effectuées sur le réseau de balises.*
- 5 Aus den Luftbildern vom 5.8.1988 bzw. 25.8.1989 auf dem Jungfraufirn ermittelte Werte. - *Valeurs obtenues par interprétation des clichés aériens pris du Jungfraufirn les 5.8.1988 et 25.8.1989.*
- 6 Mittels statistischer Verfahren aus dem Anteil des Nährgebiets an der Gletscherfläche und aus der Beziehung zwischen Massenänderung und Höhe der Gleichgewichtslinie ermittelte Werte. Die Abgrenzung des Nährgebiets beruht auf den Luftbildern vom 28.9.1988 bzw. 25.8.1989.  
*Valeurs déterminées par calculs statistiques à partir de la proportionnalité des surfaces partielles du névé et totale du glacier et à partir des relations entre le bilan de masse et l'altitude de la ligne d'équilibre. Les limites du névé sont restituées selon les clichés aériens respectifs du 28.9.1988 et du 25.8.1989.*

Tabelle 5.2: Wasserhaushalt vergletscherter Einzugsgebiete 1987/88 und 1988/89  
 Tableau 5.2: Bilans hydrologiques 1987/88 et 1988/89 de bassins versants englacés

Gebietsflächen und -höhen - Surfaces et altitudes des bassins:

Einzugsgebiet	a) Ägina	b) Massa	c) Rhone	Bassin versant
Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ]	10.4	194.7	5220.0	Surface totale [km <sup>2</sup> ]
Gletscherfläche [km <sup>2</sup> ]	6.3	127.6	746.6	Surface englacée [km <sup>2</sup> ]
mittlere Meereshöhe [m]	2820.0	2950.0	2130.0	Altitude moyenne [m]
Abflussmessstation	Griessee	Blatten/Naters	Porte du Scex	Station limnigraphique
Meereshöhe [m]	2337.0	1446.0	374.0	Altitude [m]
Höchster Punkt	Blinnenhorn	Aletschhorn	Dufourspitze	Point culminant
Meereshöhe [m]	3373.8	4195.0	4634.0	Altitude [m]

a) Ägina (Griesgletscher) - Aegina (glacier de Gries)<sup>1)</sup>

Bilanzperiode <i>Période du bilan</i>	Abfluss <i>Ecoulement</i>	Verdunstung <i>Evaporation</i>	Reserven- änderung <i>Variation des réserves</i>	Niederschlag	
				Gebietsmittel <i>Moyenne</i>	Totalisator <i>Totalisateur</i>
1.10 - 30.9.	[kg/m <sup>2</sup> ] <sup>2)</sup>	[kg/m <sup>2</sup> ] <sup>3)</sup>	[kg/m <sup>2</sup> ] <sup>4)</sup>	[kg/m <sup>2</sup> ] <sup>5)</sup>	[kg/m <sup>2</sup> ] <sup>6)</sup>
1987/88	2428	200	-430	2198	1570
1988/89	2364	200	-550	2014	1796
Mittelwert - Valeur moyenne 1961-1989 1964-1989	1860	200	- 70	1990	1710

1 VAW [1989b und 1990a] - VAW [1989b et 1990a].

2 Durch das Kraftwerk für das hydrologische Jahr vom 1. Oktober bis 30. September bestimmte Werte (s. Bemerkungen zu Tab. 16 des 93./94. Berichts, 1971/72 und 1972/73). - Valeurs déterminées par les forces motrices, valables pour l'année hydrologique du 1<sup>er</sup> octobre au 30 septembre (v. notes explicatives du tabl. 16 des 93<sup>e</sup>/94<sup>e</sup> rapports, 1971/72 et 1972/73).

3 Invarianter Schätzwert - Valeur estimée (invariable).

4 Aus der Massenänderung des Gletschers abgeleitete Werte (Tab. 5.1 und 5.3) - Valeurs dérivées du bilan de masse du glacier (tabl. 5.1 et 5.3).

5 Aus Abfluss, Verdunstung und Reservenänderung berechnete Werte - Valeurs calculées à partir de l'écoulement, de l'évaporation et de la variation des réserves.

6 Im Totalisator Cornopass gesammelte Jahresmenge - Précipitations annuelles collectées dans le totalisateur du Col de Corno (Koordinaten / Coordonnées: 672.34 / 145.8 km / 2510 m).

Tabelle 5.2: Fortsetzung

Tableau 5.2: Continuation

b) Massa (Aletschgletscher) - Massa (glaciers d'Aletsch)<sup>1)</sup>

Bilanzjahr <i>Année du bilan</i>	Niederschlag <i>Précipitations</i> N <sup>2)</sup>	Verdunstung <i>Evaporation</i> V <sup>3)</sup>	Abfluss <i>Ecoulement</i> A <sup>4)</sup>	Reserven- änderung <i>Variation des réserves</i> R <sup>5)</sup>	Gletscher- fläche <i>Surface glaciaire</i> G <sup>6)</sup>	Spezifische Massenänderung <i>Bilan de masse spécifique</i> B <sup>7)</sup>
1.10. - 30.9.	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]
1987/88	2349	210	2239	- 100	127.6	- 152
1988/89	2418	210	2171	37	127.5	5
<b>Vergleichswerte 1931-1989 - Données statistiques 1931-1989</b>						
Mittel <i>Moyenne</i>	2166	210	2096	- 140	131.0	- 200
Standardab- weichung <i>Ecart-type</i>	375		332	583	3.0	861
Minimum (Jahr - <i>Année</i> )	1452 (1949)		1593 (1978)	-1698 (1947)	127.3 (1989)	- 2487 (1947)
Maximum (Jahr - <i>Année</i> )	2970 (1981)		3297 (1947)	1093 (1978)	136.9 (1932)	1659 (1978)

1 Aellen und Funk [1990] - *Aellen et Funk [1990]*.

2 Schätzwerte, berechnet aufgrund der Niederschlagsmessungen in Grindelwald (1040 m), Fiesch (1060 m) und Ried/Lötschental (1480 m), [SMA, 1987-89b].  
*Valeurs estimées, calculées à partir des précipitations mesurées à Grindelwald (1040 m), Fiesch (1060 m) et Ried/Lötschental (1480 m), [SMA, 1987-89b]*.

3 Invarianter Schätzwert - *Valeur estimée (invariable)*.

4 An der Limnigraphenstation Blatten bei Naters registrierte Abflüsse (Abb. 5.1a), [LHG, 1987-89].  
*Débits enregistrés à la station limnigraphique de Blatten près de Naters (fig. 5.1a), [LHG, 1987-89]*.

5 Schätzwerte, berechnet nach der Formel - *Valeurs estimées, calculées selon la formule: R = N - A - V*.

6 Schätzwerte, abgeleitet aus der jährlichen Längenänderung des Grossen Aletschgletschers (Tab. 5.1, Fussnoten 1c und 1d; Tab. 21 des 95./96. Berichts, 1973/74 und 1974/75). - *Valeurs estimées, dérivées de la variation annuelle en longueur du Grand glacier d'Aletsch (tabl. 5.1, notes 1c et 1d; tabl. 21 des 95<sup>e</sup>/96<sup>e</sup> rapports, 1973/74 et 1974/75)*.

7 Schätzwerte, berechnet nach der Formel - *Valeurs estimées, calculées selon la formule: B = F • R / G (F = 194.7 km<sup>2</sup>)*.

Tabelle 5.2: Fortsetzung

Tableau 5.2: Continuation

## c) Rhone (bis Genfersee) - Rhône (à l'amont du Léman)

Bilanzjahr <i>Année du bilan</i>	Niederschlag <i>Précipitations</i>	Verdunstung <i>Evaporation</i>	Abfluss <i>Ecoulement</i>				Reserven- änderung <i>Variation des réserves</i> R <sup>7)</sup>
			gemessen <i>mesuré</i> Ag <sup>3)</sup>	umgeleitet <i>détourné</i> AA-AE <sup>4)</sup>	gespeichert <i>retenu</i> S <sup>5)</sup>	berechnet <i>restitué</i> A <sup>6)</sup>	
1.10. - 30.9.	N <sup>1)</sup> [kg/m <sup>2</sup> ]	V <sup>2)</sup> [kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]
1987/88	1472	300	1213	- 10	2	1205	- 33
1988/89	1464	300	1209		4	1213	- 49
Mittelwert - <i>Valeur moyenne</i>							
1955-1980	1361	300	1032	2	7	1041	20
1955-1985	1386	300	1062	0	7	1069	17

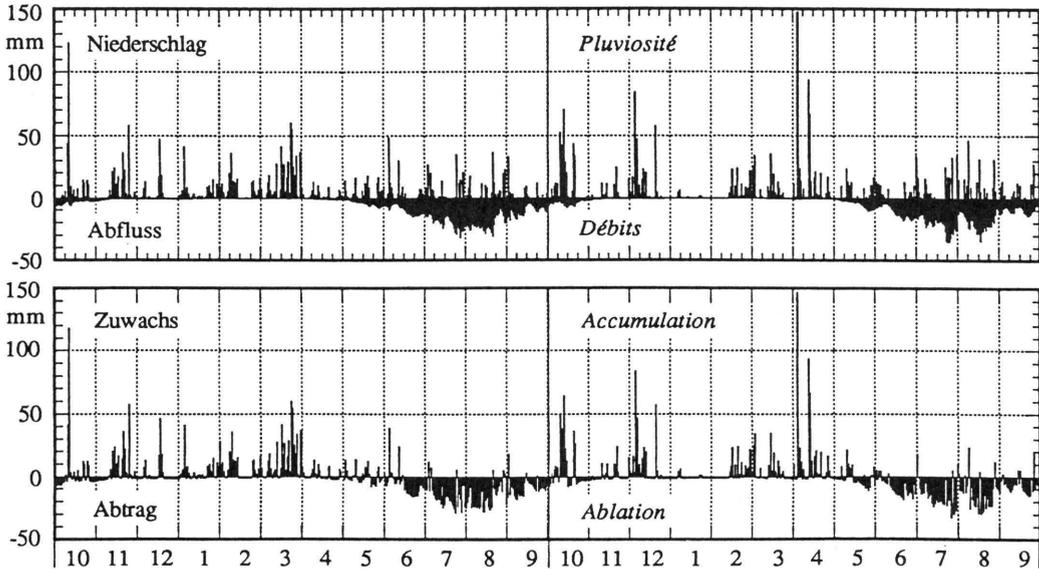
- [SMA,1987-89b], nähere Angaben siehe Kapitel 6.22 des 97./98. Berichts (1975/76 und 1976/77) - [SMA, 1987-89b], *explications voir chapitre 6.22 des 97<sup>e</sup>/98<sup>e</sup> rapports (1975/76 et 1976/77)*.
- Invarianter Schätzwert (vgl. Kap. 6.23 und 6.25 des zitierten Berichts). - *Valeur estimée, invariable (cf. chap. 6.23 et 6.25 des rapports cités)*.
- Registrierter Abfluss in Porte du Scex [LHG, 1987-89], (vgl. Kap. 6.21 und 6.22 des zitierten Berichts). - *Débits enregistrés à Porte du Scex [LHG, 1987-89], (cf. chap. 6.21 et 6.22 des rapports cités)*.
- Überleitung von Wasser über die Grenzen des Einzugsgebiets:
  - Ableitung (A<sub>A</sub>) ins Einzugsgebiet des Tessins (von der Ägina nach Alpe Cruina),
  - Zuleitung (A<sub>E</sub>) aus dem Einzugsgebiet der Arve (von Lognan / Le Tour nach Emosson).*Volumes d'eau dérivés ou amenés à travers les partages naturelles des eaux:*
  - *Dérivation (A<sub>A</sub>) dans le bassin du Tessin (de l'Aegina à l'Alpe Cruina),*
  - *Adduction (A<sub>E</sub>) du bassin de l'Arve (de Lognan / Le Tour à Emosson).*
- Änderung der Stauhaltung in den Speicherbecken der Wasserkraftwerke: Rückhalt im Sommer (+), Abgabe im Winter (-). *Variation des volumes d'eau dans les bassins d'accumulation des forces motrices: retenus en été (+), relâchés en hiver (-).*
- Natürlicher Abfluss in Porte du Scex, rekonstruiert nach der Formel - *Débits naturels à Porte du Scex, restitués selon la formule:*  $A = A_g + (A_A - A_E) + S$ .
- Änderung der natürlichen Wasserreserven, berechnet nach der Formel - *Variation des réserves naturelles en eau, restitués selon la formule:*  $R = N - A - V$ .

Abbildung 5.1: Einzugsgebiet Massa (Aletschgletscher) - Wasserhaushalt 1987/88 und 1988/89

Figure 5.1: Bassin versant de la Massa (glaciers d'Aletsch) - Bilans hydrologiques 1987/88 et 1988/89

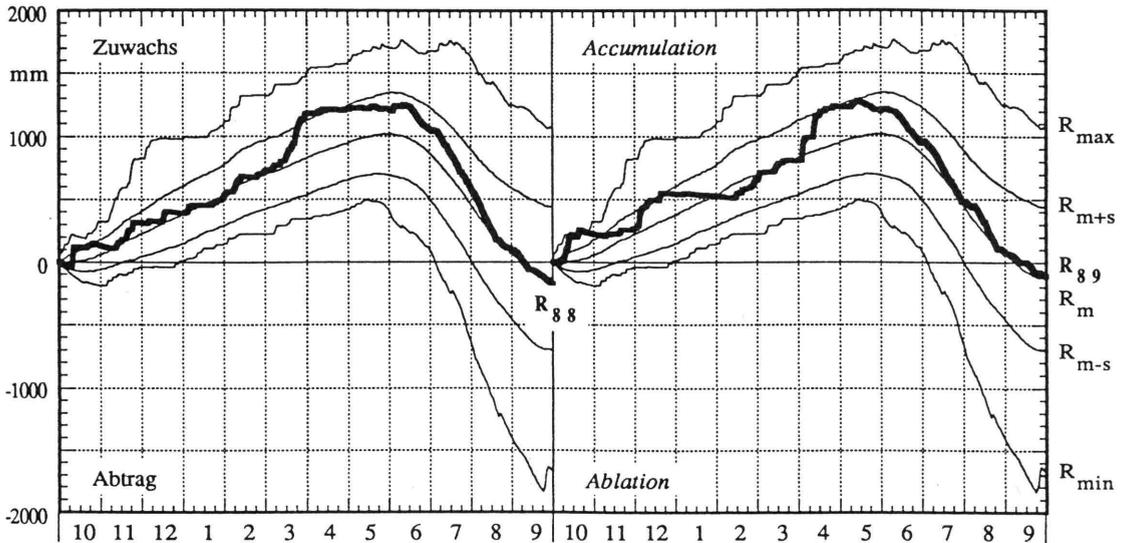
a) Niederschlag, Abfluss und Reservenänderung - Tageswerte

*Précipitations, débits et variations des réserves en eau - Valeurs quotidiennes*



b) Reservenänderung - Jahrgang und Vergleichswerte

*Variations des réserves en eau - Evolution et valeurs statistiques*



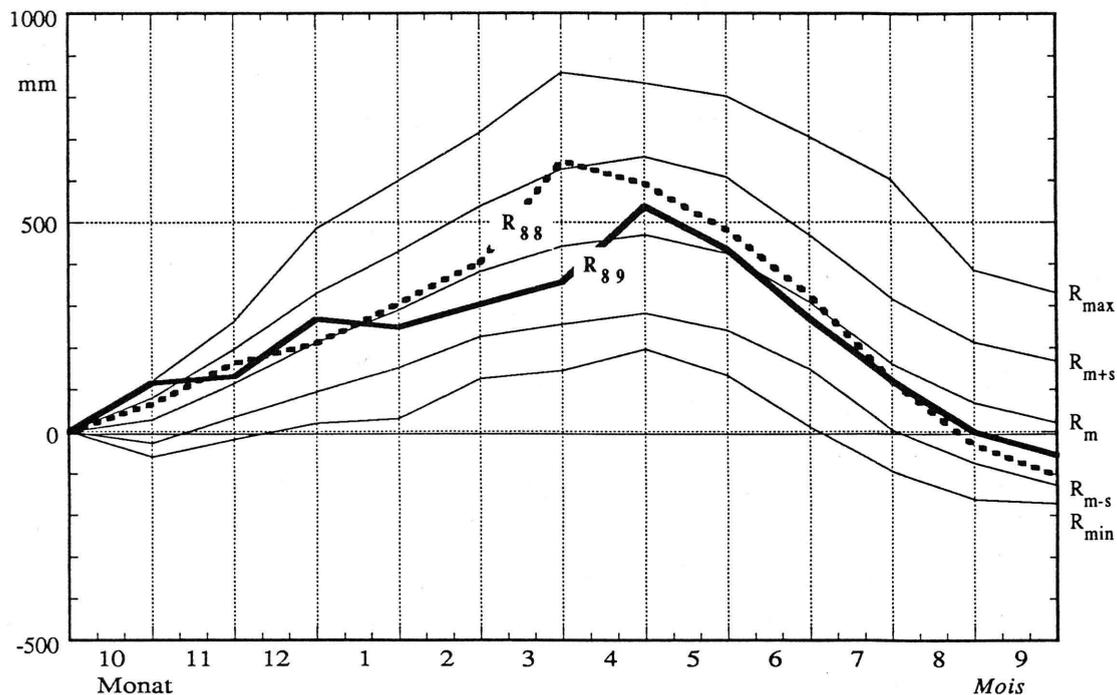
Reservenänderung 1987/88 und 1988/89 - Variations des réserves en eau 1987/88 et 1988/89:  $R_{88}$ ,  $R_{89}$  = summierte Tageswerte (1. Okt. - 30. Sept.) - Valeurs quotidiennes cumulées (1er oct. - 30 sept.).

Vergleichswerte 1931-1987 - Valeurs statistiques 1931-1987

$R_m$  = Mittelwert - Moyenne; s = Standardabweichung - Ecart-type;  $R_{max}$ ,  $R_{min}$  = Extremwerte - Valeurs extrêmes.

Abbildung 5.2: Einzugsgebiet Rhone (bis Genfersee) - Reservenänderung 1987/88 und 1988/89: Jahresgang und Vergleichswerte

Figure 5.2: Bassin versant du Rhône (à l'amont du Léman) - Variations des réserves en eau 1987/88 et 1988/89: Evolution et valeurs statistiques



Reservenänderung 1987/88 und 1988/89 - Variations des réserves en eau 1987/88 et 1988/89:  
 $R_{88}$ ,  $R_{89}$  = summierte Monatswerte (Oktober - September) - Valeurs mensuelles cumulées (octobre - septembre).

Vergleichswerte 1955-1980 - Valeurs statistiques 1955-1980:

$R_m$  = Mittelwert - Moyenne;  $s$  = Standardabweichung - Ecart-type;  $R_{max}$ ,  $R_{min}$  = Extremwerte - Valeurs extrêmes.

#### Statistische Zahlen der Summenwerte - Paramètres statistiques des valeurs cumulées:

Grösse - Paramètre	Summenwert am Ende des Monats - Valeur cumulée à la fin du mois											
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mittelwert und Standardabweichung 1955-1980 - Valeurs moyenne et écart-type 1955-1980												
$R_m$ [kg/m <sup>2</sup> ]	27.4	116.3	213.1	291.0	381.5	441.9	469.8	425.3	309.2	161.1	69.0	20.1
$s$ [kg/m <sup>2</sup> ]	54.4	81.3	116.9	138.0	155.5	185.3	187.4	183.2	160.2	156.7	143.9	147.9
Normierte Abweichungen - Ecart standardisés <sup>1)</sup>												
$\tilde{R}/\omega_R$ 1987/88	1.0	0.9	-0.0	0.1	0.2	1.6	1.0	0.5	0.2	-0.4	-1.0	-1.3
$\tilde{R}/\omega_R$ 1988/89	2.0	0.3	0.7	-0.4	-0.8	-0.7	0.5	0.0	-0.4	-0.4	-0.7	-0.8

1 Vgl. Tabelle 5.4 des 103/104. Berichts (1981/82 - 1982/83) - cf. tableau 5.5 des 103<sup>e</sup>/104<sup>e</sup> rapports (1981/82 - 1982/83).

Tabelle 5.3: Griesgletscher (Ägina) - Massenänderung 1987/88 und 1988/89 in Höhenstufen

Tableau 5.3: Glacier de Gries (Aegina) - Bilans de masse 1987/88 et 1988/89 en fonction de l'altitude

Messperioden: 21.9.1987 - 21.9.1988  
Périodes de bilan: 21.9.1988 - 27.9.1989

Höhenstufe Altitude [m ü.M.][m s.m.]	Fläche Surface [km <sup>2</sup> ] 1)	Massenänderung - Bilan de masse			
		1987/88		1988/89	
		gesamt [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	spezifisch [cm]	total [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	spécifique [cm]
2380 - 2500	0.168 / 0.165 2)	- 0.642	- 382	- 0.617	- 374
2500 - 2600	0.608	- 1.757	- 289	- 1.715	- 282
2600 - 2700	0.984	- 2.066	- 210	- 2.007	- 204
2700 - 2800	0.543	- 0.782	- 144	- 0.749	- 138
2800 - 2900	0.726	- 0.661	- 91	- 0.624	- 86
2900 - 3000	1.004	- 0.522	- 52	- 0.462	- 46
3000 - 3100	1.597	- 0.415	- 26	- 0.319	- 20
3100 - 3200	0.547	- 0.055	- 10	- 0.027	- 5
3200 - 3300	0.130	+ 0.004	+ 3	+ 0.012	+ 9
3300 - 3400	0.010	+ 0.002	+ 16	+ 0.002	+ 22
2380 - 3400	6.317 / 6.314 2)	- 6.894	- 109	- 6.506	- 103

1 Flächen am 15.8.1979 (Ausnahmen s. Fussnote 2) - Surfaces du 15.8.1979 (exceptions voir note 2).

2 Flächen am 21.9.1988 bzw. 20.9.1989, berechnet aus dem Flächenschwund am Zungenende (Einwirkung des Stausees). Surfaces respectives du 21.9.1988 et 20.9.1989, déterminées en tenant compte des pertes au front terminal (influence du lac artificiel).

Tabelle 5.4: Silvrettagletscher - Massenänderung 1987/88 und 1988/89 in Höhenstufen  
 Tableau 5.4: Glacier de Silvretta - Bilans de masse 1987/88 et 1988/89 en fonction de l'altitude

Messperioden: 14.9.1987 - 27.9.1988  
 Périodes de bilan: 27.9.1988 - 20.9.1989

Höhenstufe Altitude [m ü.M.][m s.m.]	Fläche Surface [km <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	Massenänderung - Bilan de masse			
		1987/88		1988/89	
		gesamt [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	spezifisch [cm]	total [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	spécifique [cm]
2400 - 2500	0.031	- 0.106	- 343	- 0.092	- 296
2500 - 2600	0.385	- 0.847	- 220	- 0.689	- 179
2600 - 2700	0.498	- 0.622	- 125	- 0.433	- 87
2700 - 2800	0.789	- 0.434	- 55	- 0.166	- 21
2800 - 2900	0.628	- 0.069	- 11	+ 0.132	+ 21
2900 - 3000	0.577	+ 0.115	+ 20	+ 0.288	+ 50
3000 - 3150	0.242	+ 0.123	+ 51	+ 0.189	+ 78
2400 - 3150	3.150	- 1.840	- 58	- 0.771	- 25

1 Flächen am 12.9.1973 - Surfaces du 12.9.1973.

### KORRIGENDA 1986/87:

Höhenstufe Altitude [m ü.M.][m s.m.]	Fläche Surface [km <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	Massenänderung - Bilan de masse			
		1985/86		1986/87	
		gesamt [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	spezifisch [cm]	total [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	spécifique [cm]
2400 - 2500	0.031	2)	2)	- 0.090	- 290
2500 - 2600	0.385			- 0.670	- 174
2600 - 2700	0.498			- 0.413	- 83
2700 - 2800	0.789			- 0.134	- 17
2800 - 2900	0.628			+ 0.151	+ 24
2900 - 3000	0.577			+ 0.306	+ 53
3000 - 3150	0.242			+ 0.196	+ 81
2400 - 3150	3.150	- 0.850 <sup>2)</sup>	- 27 <sup>2)</sup>	- 0.655	- 21

1 Flächen am 12.9.1973 - Surfaces du 12.9.1973.

2 Pegelnetz 1985 nicht beobachtet (vgl. Tab. 5.1) - Réseau de balises non observé en 1985 (cf. tabl. 5.1).

## 5.4 AAREGLETSCHER

### Bemerkungen

Das Messprogramm an den Aaregletschern ist im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli durch das Vermessungsbüro A. Flotron, Meiringen, weitergeführt worden. Die Hauptergebnisse der Berichtsjahre sind in den Tabellen 5.5 und 5.6 zusammengestellt. Weitere Angaben sind in den Kapiteln 3.4, 5.2 und 5.3 enthalten. Die luftphotogrammetrisch vermessenen Querprofile und das Passpunktnetz sind in der Abbildung 5.3 eingezeichnet. Die Koordinaten der Passpunkte und Angaben über die Dauer der Beobachtungen an den einzelnen Messstellen sind im 90. Bericht (1968/69) zu finden, wo das aktuelle Messprogramm ausführlich beschrieben ist.

Am Datum der Vermessungsflüge 1987-1989 war die Gletscheroberfläche im ganzen Messbereich vollständig ausgeapert. Mit der verwendeten photogrammetrischen Methode (Direktvergleich der Luftbilder zweier Jahre) ist die Gletscherbewegung jedoch nur in den tiefergelegenen Teilen des Zungengebiets erfassbar, wo eindeutig identifizierbare Objekte oder Strukturen an der Oberfläche in genügender Menge vorhanden sind.

## 5.4 GLACIERS DE L'AAR

### Remarques

*Le programme de mensurations aux glaciers de l'Aar a été poursuivi à la demande des Forces motrices de l'Oberhasli et par les soins du bureau de mensurations A. Flotron, Meiringen. Les résultats principaux des années du rapport sont résumés dans les tableaux 5.5 et 5.6. Des informations supplémentaires sont données dans les chapitres 3.4, 5.2 et 5.3. Les profils transversaux contrôlés par les levés aérophotogrammétriques et le réseau des points repères sont indiqués dans la figure 5.3. La liste des coordonnées des points repères est donnée dans le 90<sup>e</sup> rapport (1968/69) qui renseigne sur la durée des observations aux divers sites ainsi que sur le programme actuel de mensurations.*

*A la date des vols photogrammétriques 1987-1989, la surface glaciaire a été déneigée dans tous les secteurs observés. Pourtant, le mouvement glaciaire n'est mesurable par la méthode photogrammétrique appliquée (comparaison directe des clichés aériens de deux années) que dans les parties basses de la langue, où la surface est recouverte d'un nombre suffisant d'objets ou de structures sûrement reconnaissables.*

Abbildung 5.3: Aaregletscher - Lage der Querprofile

Figure 5.3: *Glaciers de l'Aar - Situation des profils transversaux*

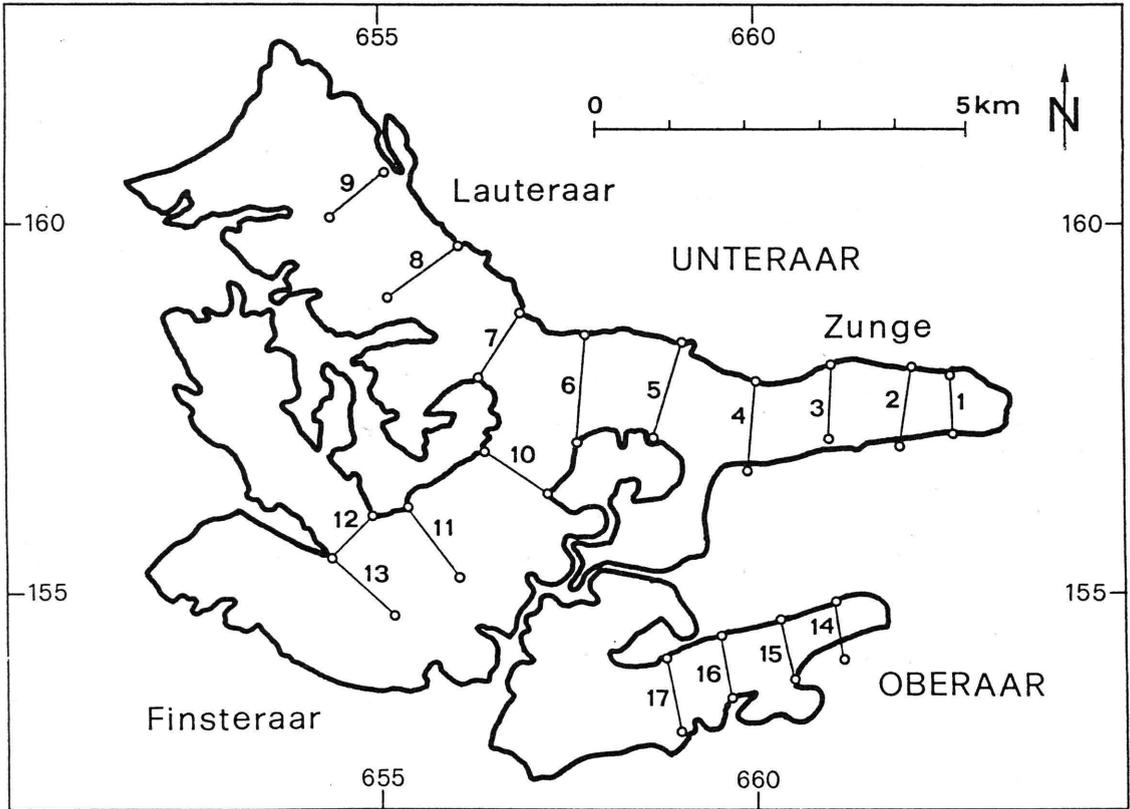


Tabelle 5.5: Aaregletscher 1987/88<sup>1)</sup>

Messperiode: 29.8.1987 - 21.9.1988

a) Dickenänderung und Bewegung

Gletscher	Profil (vgl. Abb. 5.3)	Gletscheroberfläche			Gletscherbewegung <sup>2)</sup>			
		Mittlere Höhe		Höhen- änderung	Verschiebung		Geschwindigkeit	
		1987	1988		Mittel	Maximum	Mittel	Änderung
		[m ü.M.]	[m ü.M.]	[m]	[m]	[m]	[m/Jahr]	[m/Jahr]
Unteraar	z Zungenende 1987							
	1	1954.0	1951.2	- 3.8				
	2 Obere Brandlamm	2025.6	2023.9	- 1.7				
	3	2124.2	2122.5	- 1.7				
	4 Pavillon Dollfus	2213.2	2211.1	- 2.1				
	5	2286.7	2284.6	- 2.1				
Lauteraar	6 Mieselenegg	2363.1	2361.8	- 1.3				
	7	2429.4	2428.1	- 1.3				
	8 Wildläger	2515.9	2514.1	- 1.8				
Finsteraar	9	2645.2	2644.1	- 1.1				
	10	2451.6	2449.8	- 1.8				
	11 Grunerhorn	2562.3	2560.4	- 1.9				
	12 Strahlegg	2627.5	2626.0	- 1.5				
Oberaar	13 Finsteraar	2654.0	2652.5	- 1.5				
	z Zungenende 1987							
	14 Mittleres Profil	2359.9	2357.8	- 2.1				
	15 Oberes Profil	2485.7	2484.6	- 1.1				
	16 Oberstes Profil	2565.2	2564.1	- 1.1				
	17	2677.0	2674.5	- 2.5				

1 Vermessungen im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli, ausgeführt durch Vermessungsbüro A. Flotron, Meiringen.

2 Bewegung nicht messbar aus technischen Gründen (Umbau der Auswerteeinrichtung) - *Mouvement non mesurable à cause de modifications techniques (rénovation de l'appareillage photogrammétrique).*

b) Flächen- und Volumenänderung

Begrenzungs- profile	Flächen- änderung [m <sup>2</sup> ]	Volumen- änderung [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]	Begrenzungs- profile	Flächen- änderung [m <sup>2</sup> ]	Volumen- änderung [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]
Unteraar			Finsteraar		
z - 1	- 4988	- 332	6 - 10		- 1806
1 - 2		- 927	10 - 11		- 2679
2 - 3		- 1546	11 - 12/13		- 2296
3 - 4		- 1716			
4 - 5		- 2809	z - 9/12/13		-21721
5 - 6		- 2336			
Lauteraar			Oberaar		
6 - 7		- 1233	z - 14	- 7048	- 215
7 - 8		- 2237	14 - 15		- 686
8 - 9		- 1804	15 - 16		- 652
			16 - 17		- 1055
			z - 17		- 2608

Tableau 5.6: *Glaciers de l'Aar 1988/89*<sup>1)</sup>  
 Période d'observation: 21.9.1988 - 15.8.1989

## a) Variations d'épaisseur et du mouvement

Glacier	Profil (cf. fig. 5.3)	Niveau de la surface			Mouvement du glacier			
		Altitude moyenne 1988	1989	Variation	Déplacement		Vitesse <sup>2)</sup>	
		[m s.m.]	[m s.m.]	[m]	moyen [m]	maximal [m]	moyenne [m/an]	Variation [m/an]
Unteraar:	z Front en 1988							
	1	1951.2	1948.9	- 2.3	0.8	2.6	0.9	
	2 Obere Brandlamm	2023.9	2022.1	- 1.8	1.6	3.2	1.8	- 0.9
	3	2122.5	2121.5	- 1.0	12.1	17.7	13.5	- 3.2
	4 Pavillon Dollfus	2211.1	2210.7	- 0.4	16.7	24.5	18.6	- 4.0
	5	2284.6	2283.9	- 0.7	21.4	28.0	23.8	- 4.9
6 Mieselenegg	2361.8	2359.9	- 1.9	26.1	36.1	29.0	- 6.4	
Lauteraar	7	2428.1	2427.5	- 0.6	25.4	35.3	28.3	- 3.9
	8 Wildläger	2514.1	2512.8	- 1.3	3)			
	9	2644.1	2643.2	- 0.9	3)			
Finsteraar	10	2449.8	2448.7	- 1.1	24.7	35.8	27.5	- 9.5
	11 Grunerhorn	2560.4	2559.1	- 1.3	27.7	39.4	30.8	-12.9
	12 Strahlegg	2626.0	2625.3	- 0.7	3)			
	13 Finsteraar	2652.5	2652.3	- 0.2	3)			
Oberaar	z Front en 1988							
	14 Profil médian	2357.8	2356.4	- 1.4	3)			
	15 Profil supérieur	2484.6	2483.3	- 1.3	3)			
	16 Profil suprême	2564.1	2563.0	- 1.1	3)			
	17	2674.5	2673.1	- 1.4	3)			

1 Mesurations effectuées à la demande des forces motrices de l'Oberhasli par le bureau A. Flotron, Meiringen.

2 Variation par rapport à la vitesse observée en 1986/87 - Änderung bezogen auf Geschwindigkeit 1986/87.

3 Mouvement non mesurable faute d'objets sûrement identifiables à la surface glaciaire - Bewegung nicht messbar mangels eindeutig identifizierbarer Objekte an der Gletscheroberfläche.

## b) Variations de surface et du volume

Profils-limitants	Variation de la surface [m <sup>2</sup> ]	Variation du volume [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]	Profils limitants	Variation de la surface [m <sup>2</sup> ]	Variation du volume [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]
Unteraar			Finsteraar		
z - 1	- 8354	- 820	6 - 10		- 1742
1 - 2		- 187	10 - 11		- 1734
2 - 3		- 1269	11 - 12/13		- 1214
3 - 4		- 631			
4 - 5		- 735	z - 9/12/13		-13969
5 - 6		- 1783			
Lauteraar			Oberaar		
6 - 7		- 1182	z - 14	- 1552	- 59
7 - 8		- 1369	14 - 15		- 576
8 - 9		- 1303	15 - 16		- 708
			16 - 17		- 730
			z - 17		-16042

## 5.5 SCHNEE- UND FIRNZUWACHS

### 5.5.1 Einleitung

Das Verzeichnis der jährlich von 1914 bis 1978 veröffentlichten Berichte über Niederschlag, Schnee- und Firnzuwachs im Clariden-, im Silvretta- und im Aletschgebiet (zeitweise auch in einigen anderen Gebieten) ist in Kapitel 5.51 des 99./100. Berichts (1977/78 und 1978/79) enthalten.

### 5.5.2 Clariden

Das gegenwärtige Messprogramm der halbjährlichen Erhebungen über Firnzuwachs und Niederschlag im Claridengebiet ist in Kapitel 5.52 des 99./100. Berichts (1977/78 und 1978/79) beschrieben. Die Messdaten und Ergebnisse über den Schnee- und Firnzuwachs in der Periode 1914-1984 sind als homogenisierte Zeitreihen dargestellt in Müller und Kappenberger [1991].

Die Messungen im Frühjahr und Herbst der Berichtsjahre haben G. Kappenberger, H. Müller (ausser im Herbst 1989) und Erika Lemans durchgeführt. Zusätzliche Pegelablesungen zwischen den Hauptterminen hat wiederum Hüttenwart B. Marti vorgenommen. Die nachstehenden Berichte und die Zusammenstellung der Daten über den Firnzuwachs (Tab. 5.7 und 5.8) hat G. Kappenberger verfasst. Den Angaben über den Niederschlag liegen die publizierten Werte der SMA [1987-1989b] zugrunde.

Die Herbstbegehung 1989 gab Anlass zu einem kurzen Rückblick auf 75 Jahre Claridenfirn-Messungen. an der Jubiläumsfeier im Hotel Tell, Urnerboden, hielt W. Kuhn, vormaliger Projektleiter und Verfasser der Firnberichte 1947 bis 1962, das Hauptreferat. An der anschliessenden Jubiläumsbegehung des Claridenfirns wirkten unter Kappenbergers Leitung neben E. Lemans auch die übrigen 5 Teilnehmer mit bei den Herbstmessungen (vgl. Kap. 4.2).

### Beobachtungen 1988

Die Frühjahrsbegehung hat am 28. Mai stattgefunden. Am Pegel neben der Claridenhütte lag der Schnee 3.8 m hoch, vom unteren Firnpegel war nichts zu sehen. Der Winterzuwachs am oberen Firnpegel war genau durchschnittlich in der Schneehöhe, leicht überdurchschnittlich im Wasserwert. Beim unteren Firnpegel, wo durch Sondieren der Sommerhorizont 1987 als harte Schicht in 5.1 m Tiefe geortet wurde, war die Schneehöhe deutlich grösser als normal. Die Oberfläche, die keinen Neuschnee aufwies, war mit Saharastaub belegt. Die Perkolation hatte bereits die gesamte Schneedecke durchnässt, jedoch noch kaum zu namhaften Massenverlusten geführt, wohl aber eine starke Verdichtung des Schnees auf Werte über  $0.5 \text{ g/cm}^3$  bewirkt.

Die Herbstmessung am 10. September ergab bei beiden Pegeln einen namhaften Firnzuwachs. Der untere Pegel war wieder sichtbar, jedoch stark verbogen; wahrscheinlich war er dem Luftdruck einer vom Bocktschlingel abefahrenen Staublawine ausgesetzt. Schneehöhe und Wasserwert waren beim unteren Pegel deutlich grösser, beim oberen Pegel dagegen ebenso deutlich kleiner als im langjährigen Durchschnitt.

### **Beobachtungen 1989**

Die Frühjahrsmessung am 26. Mai ergab beim Hüttenpegel eine Schneehöhe von 2.9 m. Durch Sondieren beim unteren Firnpegel wurden harte Schichten in 3.4 und 4.4 m Tiefe geortet. Demnach war der Schneezuwachs im Winter weit unter dem Durchschnitt geblieben und der Firnzuwachs des Vorjahrs auf 97 cm vermindert worden. Dies weist darauf hin, dass im Herbst 1988 nach der Messung noch 30-40 cm Firnschnee abgetragen wurden. Beim oberen Firnpegel war der Winterzuwachs ebenfalls geringer als normal. Die Ablesung an der Stange ergab eine Schneehöhe von 3.85 m, die Sondierung eine solche von 4.02 m. Im aufgedragenen Schacht zeigte sich, dass die Schneedecke durchgehend vernässt war und entsprechend hohe Dichtewerte aufwies, weshalb ihr Wasserwert verhältnismässig weniger vom Normalwert abwich als ihre Schneehöhe.

Die Herbstmessung am 19. September ergab beim unteren Pegel überdurchschnittlichen, im Vergleich zum Vorjahr leicht verminderten Firnzuwachs. In der Schneehöhe (1.1 m im Schacht, 0.9 m am Pegel) und im Wasserwert (61 cm) inbegriffen ist eine zwei Wochen alte Schneelage mit einer Dicke von 28 cm und einem Wasserwert von 13 cm. Beim oberen Pegel dagegen blieb der Jahreszuwachs wiederum weit unter dem Durchschnitt, viel weiter als im Vorjahr. Die Neuschneelage, die hier 44 cm Dicke und 19 cm Wasserwert aufwies, ist in der Schneehöhe (1.47 m im Schacht, 1.55 m an der Stange) und im Wasserwert (73 cm) ebenfalls erfasst. Die Firnschicht unter dem Neuschnee hatte sich im Laufe des Sommers weiter verfestigt auf eine mittlere Dichte von  $0.585 \text{ g/cm}^3$  beim unteren und  $0.524 \text{ g/cm}^3$  beim oberen Pegel.

Tabelle 5.7: Claridenfirn 1987/88

Messperiode: 12.9.1987 - 10.9.1988

a) Schnee- und Firnzuwachs, Dickenänderung und Bewegung

Messperiode		Messstellen		Schnee- oder Firnzuwachs			Dicken- änderung	Horizontal- bewegung
vom	bis	Pegel	Höhe	Höhe	Wasserwert	Raumgewicht	[m]	[m]
			[m ü.M.]	[cm]	[cm]	[g/cm <sup>3</sup> ]		
<b>Winter</b>								
13.9.87	28.5.88	unterer	2700	512				
12.9.87	28.5.88	oberer	2900	473	243	0.514		
<b>Jahr</b>								
13.9.87	10.9.88	unterer	2700	123	73	0.589	- 0.6	3.0
12.9.87	10.9.88	oberer	2900	205	117	0.569	- 1.2	12.5
<b>Jahreszuwachs 1914-1984 - Accumulation annuelle 1914-1984</b>								
Mittelwert		unterer	2700	75	43	0.573		
Moyenne		oberer	2900	255	144	0.565		
Standardabweichung		unterer	2700	146	86			
Ecart-type		oberer	2900	135	74			

b) Saison- und Jahresniederschlag

Station	Höhe	Niederschlag					
		Messperiode 1)			Hydrologisches Jahr		
		Winter	Sommer	Jahr	Summe	Abweichung vom Normalwert	
	[m ü.M.]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm] 2)	[cm] 3)	[%]
<b>Totalisatoren</b>							
Claridenhütte	2480	118	69	187	189	+ 7	+ 4
Geissbützistock	2710	122	66	188	190	-129	- 40
<b>Vergleichsstationen</b>							
Tierfehd	820	105	73	178	178	+ 9	+ 5
Elm	962	92	71	163	163	+ 9	+ 6
Disentis	1173	53	54	107	107	- 18	- 14
Braunwald	1190	137	77	214	214	+ 26	+14
Urnerboden	1350	91	81	172	172	+ 11	+ 7

1 Totalisatoren: gleiche Perioden wie für Firnpegel (Tab. 5.7a); Vergleichsstationen: hydrologische Jahreszeiten (Winter: Oktober-April, Sommer: Mai-September) und hydrologisches Jahr (Oktober-September).

2 Niederschlagssumme 1.10.1987 - 30.9.1988, für die Totalisatoren berechnet aus dem Jahreswert aufgrund der Tageswerte an den Vergleichsstationen.

3 Der Normalwert entspricht dem Mittelwert der Periode [SMA, 1988a,b]:

1901/60 Vergleichsstationen  
 1941/70 Totalisator Geissbützistock: 319 cm  
 1971/80 Totalisator Claridenhütte: 182 cm

Tableau 5.8: *Glacier de Clariden 1988/89*

Période d'observation: 10.9.1988 - 19.9.1989

a) *Accumulation nivale, variations d'épaisseur et mouvement*

Période de mesure		Site de mesure		Accumulation nivale			Variation	Déplacement
du	au	Balise	Altitude	Hauteur	Equivalent en eau	Densité	d'épaisseur	horizontal
			[m s.m.]	[cm]	[cm]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[m]	[m]
<b>Hiver</b>								
10.9.88	26.5.89	infér.	2700	340				
10.9.88	26.5.89	supér.	2900	390	206	0.529		
<b>Année</b>								
10.9.88	19.9.89	infér.	2700	110	61	0.555	- 1.1	3.0
10.9.88	19.9.89	supér.	2900	147	73	0.497	- 0.4	14.0
<b>Accumulation hivernale 1914-1984 - Winterzuwachs 1914-1984</b>								
Mittelwert		infér.	2700	424	214	0.505		
Moyenne		supér.	2900	474	229	0.483		
Standardabweichung		infér.	2700	96	52			
Ecart-type		supér.	2900	82	41			

b) *Pluviosité saisonnière et annuelle*

Station	Altitude	Pluviosité					
		Période d'observation <sup>1)</sup>			Année hydrologique		
	[m s.m.]	Hiver	Été	Année	Somme	Ecart par rapport à la valeur normale	
		[cm]	[cm]	[cm]	[cm] <sup>2)</sup>	[cm] <sup>3)</sup>	[%]
<b>Totalisateurs</b>							
Cabane de Clariden	2480	110	71	181	180	- 2	- 1
Geissbüztistock	2710	102	62	164	162	-157	-49
<b>Stations pluviométriques</b>							
Tierfehd	820	90	76	166	166	- 2	- 1
Elm	962	80	70	150	150	- 4	- 3
Disentis	1173	65	36	101	101	- 24	- 19
Braunwald	1190	102	79	181	181	- 6	- 3
Urnerboden	1350	77	97	174	174	+ 13	+ 8

1 Totalisateurs: périodes identiques à celles des balises (tabl. 5.8a); stations pluviométriques: saisons et année hydrologiques (hiver: octobre-avril, été: mai-septembre, année: octobre-septembre).

2 Somme des précipitations 1.10.1988 - 30.9.1989, restituée pour les totalisateurs en réduisant la valeur observée d'après les mesures quotidiennes aux stations pluviométriques.

3 La valeur normale correspond à la moyenne de la période suivante [SMA, 1989a,b]:

1901/60	Stations pluviométriques	
1941/70	Totalisateur Geissbüztistock:	319 cm
1971/80	Totalisateur Cabane de Clariden:	182 cm

### **5.5.3 Silvretta und Engadin**

Im Silvrettagebiet hat M. Funk die Beobachtungen am Pegelnetz der VAW weitergeführt wie im Vorjahr (Tab. 5.1, Fussnote 4). Im neuen, auf 8 Pegel beschränkten Messnetz liegen die Pegel 4 (2820 m) und 5 (2715 m) nahe am früheren (in Tab 5.9 bis 1985, in Tab. 1.1 und 1.2 weiterhin aufgeführten) Messpunkt (Firnpegel 2750 m). Die neuen Pegel liegen wie der alte im normalen Höhenbereich der Gleichgewichtslinie. Während der 25 Haushaltsjahre 1959-1985 lag die Gleichgewichtslinie im Durchschnitt auf 2732 m ü.M., mehrheitlich (gemäss Standardabweichung:  $\pm 148$  m) zwischen 2584 und 2880, in den Extremfällen (Minimum 1965, Maximum 1964) auf 2483 bzw. 3101 m ü.M. (vgl. Tab. 5.1 und 5.4).

In den nachstehenden Berichten kommentiert G. Gensler (SMA) seine telemetrischen Beobachtungen im Berninagebiet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.10 zusammengestellt.

### **Beobachtungen 1988**

Am 21. August war die Winterschneedecke an den Nordhängen der Berninagruppe stärker abgeschmolzen als an den meisten der 53 Vergleichstermine im August oder September der Jahre 1935-1987. Auf den Eis- oder Firnflächen der Gletscher war die Ausaperung in 5 Sommern (1983, 1982, 1964, 1959 und 1952) etwa gleich weit, in 4 Sommern (1950, 1949, 1947 und 1945) weiter fortgeschritten als 1988. Die unvergletscherten Flächen waren in 6 Sommern (1987, 1982, 1973, 1958, 1952 und 1949) etwa gleich stark, in 5 Sommern (1983, 1959, 1950, 1947 und 1944) stärker ausgeapert.

Besondere Ereignisse haben die Schneeschmelze im Sommer 1988 beschleunigt. Ein starker Sahara-staubeinbruch am 1. Juli, der am Nachmittag durch ein Gewitter ausgefällt wurde, hat die Albedo der Schneeoberfläche vermindert und dadurch die Wirkung der hohen Temperaturen in den nachfolgenden Wärmeperioden verstärkt. Auf dem Corvatsch hat ein warmer Starkregen (40 mm bei 3.5 - 4 °C) am 20. August den Firn durchnässt und die Felsen bis auf 3800 m Höhe auch an nordexponierten Lagen vom Schnee befreit, was dem Hochgebirge ein ungewohnt dunkles Aussehen verlieh. Ebenso eindrucklich war das Einsinken der Oberfläche des Vadretin Misaun im Bereich der neuerdings freigelegten Felsinseln unterhalb des Piz Misaun. Der zunehmende Anteil solcher Felsflächen destabilisierte den Massenhaushalt dieses kleinen Gletschers noch mehr als die grosse Wärmemenge, deren Schmelzvermögen im Sommer 1988 durch übermässig verminderte Albedo zusätzlich erhöht wurde.

Der mehrjährige Firnzuwachs ist ermittelt anhand der sommerlichen Schmelzhorizonte, die als Schmutzbänder in Bruchflächen (z.B. an Spalten, in Gletscherbrüchen usw.) zum Vorschein kommen und durch Vergleichen der Schichtprofile näherungsweise datierbar sind. Die beobachteten Stellen befinden sich im Persgletscher (Firnbruch oberhalb des Refugi Chamuotchs), am Mittelgipfel des Piz Palü (Abbruchwände der Firnkuppe) und am Piz Morteratsch (Abbruch der Firnkuppe) in N-, NW- bzw. N/NE-Exposition (ungefähre Koordinaten: 794.7/140.8, 793.8/139.5 bzw. 789.6/142.5 km).

Die Oberfläche der Firnkuppe am Palü-Mittelgipfel lag am Sommerende 1988 etwa 1/4 m höher als in den Vorjahren 1985-1987 sowie 1983 und 1972, d.h. 4 1/4 m über dem Ausgangswert vom Herbst 1951. Dieser war vom Minimalwert im Sommer 1953 um 1 m unterschritten, vom Maximalwert im September 1977 um 7 m übertroffen worden.

### **Beobachtungen 1989**

Am Ende der Schmelzperiode war die Winterschneedecke auf unvergletschertem Boden weniger weit zurückgeschmolzen als in den Vorjahren 1985-1988, 1983 und 1982, aber weiter als 1984 und 1976-1979. Die Gletscher waren Ende August bis etwa 2950 ( $\pm 50$ ) m ü.M. aper. Im Berninagebiet hat das deutliche Defizit bei den Schneehöhen im Winterhalbjahr trotz unterdurchschnittlicher Wärme im Sommerhalbjahr zu überdurchschnittlichem Ausapern geführt.

Am Vadretin Misaun ist die Oberfläche im Bereich der neuen, im Sommer 1988 ausserhalb der bisherigen Messpunkte aufgetauchten Felsinsel nicht weiter eingesunken. Hingegen ist an einem der sechs am Fuss von drei Felsinseln im unteren Gletscherteil gelegenen Messpunkte (bei Koord. 788.5/145.05 km) ein ähnliches Einsinken um 8-9 m (Einsturz einer Eishöhle?) festgestellt und in die Berechnung des Mittelwerts einbezogen worden. Der untere Teil des Gletschers ist nun fast durchgehend von Felsen umrahmt und dadurch vermutlich in eine labile Phase eingetreten. Sein Massenhaushalt wird künftig mit zunehmendem Einfluss der ausschmelzenden Felsumrahmung auf positive Lufttemperaturen stärker reagieren als bisher.

Der mehrjährige Firnzuwachs ist in gleicher Weise und an den selben Orten bestimmt wie im Vorjahr.

Die Firnoberfläche am Grat des Palü-Mittelgipfels (ca. 15° geneigt, westexponiert, 3900 m ü.M.) lag am Sommerende 1/4 m tiefer als im Vorjahr, d.h. 4 m über dem Anfangswert von 1951.

Tabelle 5.9: Silvrettagletscher - Firnzuwachs 1987/88 und 1988/89

Tableau 5.9: Glacier de Silvretta - Accumulation nivale 1987/88 et 1988/89

Messperiode <i>Période de mesure</i> vom/du bis/au		Messstelle <i>Site de mesure</i>	Höhe <i>Altitude</i> [m ü.M.][m s.m.]	Schneehöhe <i>Hauteur de neige</i> [cm]	Wasserwert <i>Equivalent en eau</i> [cm]	Raumgewicht <i>Densité</i> [g/cm <sup>3</sup> ]
<b>Firnzuwachs - Accumulation nivale</b>						
17.9.87	27.9.88	Pegel 5	2714	-125	-112	0.9 <sup>1a)</sup>
17.9.87	27.9.88	Pegel 4	2822	+ 62	+ 37	0.6 <sup>1b)</sup>
27.9.88	19.9.89	Pegel 5	2707	- 90	- 81	0.9 <sup>1a)</sup>
27.9.88	19.9.89	Pegel 4	2821	+ 25	+ 15	0.6 <sup>1b)</sup>

1 Schätzwert für a) Eis, b) Firn. - *Valeur estimée pour a) glace, b) névé.*

Tabelle 5.10: Berninagebiet

Tableau 5.10: Massif de la Bernina

a) Firnzuwachs und Dickenänderung 1987/88 und 1988/89  
*Accumulation nivale et variations d'épaisseur 1987/88 et 1988/89*

Messdatum <i>Date de mesure</i>		Dickenänderung <sup>1)</sup> <i>Variation d'épaisseur</i>		Firnzuwachs <sup>2)</sup> <i>Accumulation nivale</i>
		Piz Misaun (3010 m)	Piz Rosatsch (3100 m)	Piz Palü (3850 m)
Jahr/Année	Datum/Date	[m]	[m]	[m]
1987/88	26.3.88	3a)	2.2	+ 4
	16.6.88	+ 3.0 <sup>3b)</sup>	+ 1.9	
	10.7.88	+ 2.2 <sup>3b)</sup>	+ 1.6	
	25.7.88		+ 1.5	
	18.8.88	- 0.7	- 0.7	
	26.10.88	- 0.2	0	
1988/89	11.1.89	+ 0.9	+ 1.1	+ 2
	9.4.89	+ 1.8	+ 1.5	
	27.6.89	+ 1.1	+ 1.3	
	23.10.89	- 0.9 <sup>4a) 5)</sup>	- 0.8 <sup>4a)</sup>	
	23.10.89	- 1.3 <sup>4b) 5)</sup>	- 1.2 <sup>4b)</sup>	

- 1 Änderung der Meereshöhe der Firnoberfläche seit 2.10.1987 bzw. 26.10.1988. - *Variation de l'altitude de la surface glaciaire à partir du 2.10.1987 resp. du 26.10.1988.*
- 2 Zuwachs seit Herbst 1987 bzw. 1988 - *Accumulation à partir de l'automne 1987 resp. 1988.*
- 3 Schneeanwehungen an Felsen (bis >6 m hoch); daher a) nicht bestimmbar, b) 2 Messwerte nicht berücksichtigt. - *Corniches recouvrant les rochers (jusqu'à >6 m d'hauteur); donc a) indéfini, b) 2 valeurs mesurées rejetées.*
- 4 a) Schneeoberfläche, b) Firnoberfläche (unter Herbstschneedecke 1989) - a) *Surface du manteau neigeux, b) surface du névé (sous la neige de l'automne 1989).*
- 5 Absenkung der Eisoberfläche (um 8-9 m bei einem der 6 Messpunkte) mitgerechnet - *Abaissement de la surface glaciaire (de 8-9 m à l'un des 6 points mesurés) inclus.*

b) Firnzuwachs - Mehrjahreswerte  
*Accumulation nivale - Valeurs pluriannuelles*

	Firnzuwachs seit Herbst - <i>Accumulation nivale depuis l'automne</i>							
	1988	1987	1983	1979	1977	1972	1968	1962
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
<b>1988 (Sommerhorizont)</b>								
Pers (ca. 3250 m)		1 1/2	4 1/2		7 1/2			
Piz Morteratsch (3450 m)		1	3	4-4 1/2				
Palü (3800-3850 m)		2	6 1/2	9	13	18 1/2	24	
<b>1989 (Sommerhorizont)</b>								
Pers (ca. 3250 m)	1 1/4		3-3 1/2		6-7			
Piz Morteratsch (3450 m)	3/4	2		5-6		10		
Palü (3800-3850 m)			8 1/2	10 1/2		20-21	25	32

#### **5.5.4 Jungfraufirn (Aletschgletscher)**

Auf dem Jungfraufirn des Grossen Aletschgletschers hat die Abteilung für Glaziologie der VAW das Messprogramm am Pegelnetz unter der Leitung von M. Aellen wie 1987 in stark reduziertem Umfang durchgeführt, indem nur Pegel 3 erneuert und wie bisher weiterbeobachtet wurde durch das Personal der Hochalpinen Forschungsstation Jungfraujoch (HFS), das monatlich Fernrohrablesungen vorgenommen hat. Feldbegehungen haben Mitte Juni 1988, Ende Mai und anfangs November 1989 stattgefunden. Dabei ist bei Pegel 3 der Schneezuwachs und am Standort des früheren Pegels 5 durch Kernbohrungen auch die Schneedichte bestimmt worden. Die Oberflächenprofile sind im Juni 1988 an beiden Messstellen, im November 1989 wetterbedingt nur bei Pegel 3 vermessen worden. Da das Protokoll der Pegelablesungen anlässlich des Personalwechsels an der HFS im Herbst 1989 verloren ging und zudem das Feldbuch mit den Schneemesswerten vom Juni 1988 und November 1989 seit einem Umzug innerhalb der VAW un auffindbar ist, sind Winter- und Jahreszuwachs näherungsweise rekonstruiert aus klimatologischen Daten, gestützt auf statistisch untersuchte Zusammenhänge zwischen dem Firnzuwachs an den einzelnen Pegelstandorten, dem Niederschlag im Einzugsgebiet der Massa (bzw. an den SMA-Stationen Fiesch, Kippel/Ried und Grindelwald) und den an der SMA-Station Jungfraujoch gemessenen positiven Tages-temperaturen (Gradtagsummen). Die Ergebnisse der Beobachtungen und Berechnungen sind zusammengefasst in Tabelle 5.11 für das erste und in Tabelle 5.12 für das zweite Berichtsjahr.

Tabelle 5.11: Jungfraufirn - Schnee- und Firnzuwachs, Dickenänderung und Bewegung 1987/88

Messperiode		Messstelle		Schnee- oder Firnzuwachs			Dicken-	Horizontal-
vom	bis	Pegel	Höhe	Höhe	Wasserwert	Raumgewicht	änderung	bewegung
			[m ü.M.] <sup>1)</sup>	[cm] <sup>2)</sup>	[cm] <sup>2)</sup>	[g/cm <sup>3</sup> ] <sup>3)</sup>	[m] <sup>4)</sup>	[m]
Schneezuwachs								
10.10.87	11.6.88	P 3	3350.0	484	242	0.5	3.1	
10.10.87	11.6.88	P 5	3506.1	548	274	0.5	2.3	
Firnzuwachs								
10.10.87	4.10.88	P 3		407	224	0.55		
10.10.87	4.10.88	P 5		527	290	0.55		

- 1 Oberflächenkote am 14.6.88 am Aufstellungspunkt des Pegels - *Cote d'altitude déterminée le 14.6.88 au point de départ de la balise.*
- 2 Aus klimatologischen Daten berechneter Zuwachs - *Accumulation restituée à partir de données climatologiques.*
- 3 Schätzwerte - *Valeurs estimées.*
- 4 Änderung der Oberflächenkote am Aufstellungspunkt des Pegels vom 28.9.86 bis 14.6.88 - *Variation de l'altitude au point de départ de la balise, du 28.9.86 au 14.6.88.*

Tableau 5.12: Jungfraufirn - Accumulation nivale, variation d'épaisseur et mouvement 1988/89

Période de mesure		Site de mesure		Accumulation nette			Variation	Déplacement
du	au	balise	altitude	hauteur	équivalent	densité	d'épaisseur	horizontal
			[m s.m.] <sup>1)</sup>	de neige	en eau	[g/cm <sup>3</sup> ]	[m]	[m]
Accumulation de neige								
5.10.88	1.6.89	P 3		410 <sup>2a)</sup>	205 <sup>3)</sup>	0.5 <sup>3)</sup>		
5.10.88	31.5.89	P 5		596 <sup>2a)</sup>	281 <sup>2a)</sup>	0.47 <sup>2a)</sup>		
Accumulation de névé								
5.10.88	5.10.89	P 3	3347.5	480 <sup>2b)</sup>	264 <sup>2b)</sup>	0.55 <sup>3)</sup>	-2.5 <sup>4)</sup>	
5.10.88	5.10.89	P 5		600 <sup>2b)</sup>	330 <sup>2b)</sup>	0.55 <sup>3)</sup>		

- 1 *Cote d'altitude déterminée le 4.11.1989 au point de départ de la balise* - Oberflächenkote am 4.11.89 am Aufstellungspunkt des Pegels.
- 2 *Valeurs a) observées, b) restituées à partir de données climatologiques* - Werte a) beobachtet, b) aus klimatologischen Daten berechnet.
- 3 *Valeurs estimées* - Schätzwerte.
- 4 *Variation de l'altitude au point de départ de la balise, du 14.6.1988 au 4.11.89* - Änderung der Oberflächenkote am Aufstellungspunkt des Pegels, vom 14.6.88 bis 4.11.89.

### 5.5.5 Accumulation nivale (Aperçu)

#### **Introduction**

*La liste des rapports annuels (dits "Firnberichte") publiés de 1914 à 1978 sur la pluviosité et l'accumulation nivale observées aux glaciers de Clariden, de Silvretta et d'Aletsch ainsi que dans quelques autres régions se trouve dans le chapitre 5.51 des 99<sup>e</sup> et 100<sup>e</sup> rapports (1977/78 et 1978/79).*

#### **Clariden**

*Les observations dans la région du glacier de Clariden [Müller et Kappenberger, 1991] ont été poursuivies, en 1988 et en 1989, par G. Kappenberger (qui a rédigé les rapports et les tableaux 5.7 et 5.8 y relatifs) avec l'assistance de H. Müller et E. Lemans ainsi que du gardien de Cabane B. Marti. La 75<sup>ème</sup> année d'observations s'est terminée par une petite fête à Urnerboden, le 18 septembre 1989, suivie de la campagne jubilaire au glacier de Clariden.*

#### **Silvretta et Engadine**

*L'observation du glacier de Silvretta a été poursuivie par M. Funk sur le réseau de balises des VAW (réduit au nombre de 8 balises) et selon les méthodes de dépouillement adaptées (tabl. 5.1, remarque 4) que nous avons décrites dans notre dernier rapport. Les balises 4 (2810 m) et 5 (2715 m), situées à proximité de l'ancienne balise SLF (2750 m) à laquelle se réfèrent les données publiées dans les précédents rapports, sont proches de l'altitude moyenne de la ligne d'équilibre. Durant les 25 années de la période 1959-1985, la ligne d'équilibre se trouvait à une altitude moyenne de 2732 m, variant entre 2483 et 3101 m avec un écart-type de  $\pm 148$  m. Les résultats des années du rapport (tabl. 5.9) indiquent une faible accumulation de névé ainsi qu'une fonte remarquable de glace dans la zone d'ablation.*

*Les résultats des observations télémétriques que G. Gensler a effectuées, en 1988 et 1989, dans le massif de la Bernina, sont résumés dans le tableau 5.10 et commentés par lui-même.*

#### **Jungfraufirn (Glacier d'Aletsch)**

*Sur les névés du Grand glacier d'Aletsch, la Section de glaciologie des VAW a poursuivi ses relevés annuels par les soins de M. Aellen et avec l'assistance du personnel de la station scientifique du Jungfraujoch. Depuis 1987, seule la balise 3 a été replantée et observée comme d'habitude. Au site de l'ancienne balise 5, l'accumulation nivale a été déterminée par sondages, en juin 1988, fin mai et début novembre 1989. Suite à la perte des données observées, les résultats présentés dans les tableaux 5.11 et 5.12 ont été restitués en partie à partir de données climatologiques.*

## 6. SUMMARY

### 6.1 INTRODUCTION

An annual survey of the actual state and recent variations of the glaciers in the Swiss Alps is the central task of the Glacier Commission of the Swiss Academy of Natural Sciences (Gletscherkommission, GK, der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften, SANW). "The glaciers of the Swiss Alps 1987/88 and 1988/89, reports no. 109 and 110" are part of a series founded by F.A. Forel in 1880. Since 1964, the GK/SANW has been indebted to the Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology, an institute of the Federal Institute of Technology (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, VAW, der Eidgenössischen Technischen Hochschule, ETH) in Zurich, for collecting the annual observation data and for the preparation of the annual reports. These reports are published with financial support from the SANW.

A network of 120 glaciers has been selected to determine changes in length. The measurements are carried out with the help of cantonal forestry services, hydroelectric power companies, scientific institutions and individual coworkers. To determine mass balance changes of 5 glaciers is part of a longterm programme of the VAW. The aerial photogrammetrical survey is made by the Swiss Federal Topographical Survey (Bundesamt für Landestopographie, L+T) and the Swiss Federal Office of Cadastral Surveying (Eidgenössische Vermessungsdirektion, V+D). The description of the climatic conditions are based on data from the Swiss Meteorological Institute (Schweizerische Meteorologische Anstalt, SMA) in Zurich, the Hydrological Service of the Swiss Federal Office for Environment and Forestry (Landeshydrologie des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL) in Bern, the Swiss Federal Institute for the Study of Snow and Avalanches (Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, SLF) in Davos-Weissfluhjoch and the VAW in Zurich (cf. chapter 7, literature).

The present bilingual French-German glacier report is based on texts, tables, figures and photos published in the journal of the Swiss Alpine Club (SAC) called "Die Alpen" [Aellen, 1989 and 1990]. In general, the data will be published there one year after the actual observations have been made. The structure and contents of the present volume was standardized in the reports 95 and 96 (1973/74 and 1974/75).

An English table of contents including separate lists of tables, figures and pictures, is given in the initial part (see p. XV, XX-XXI, XXIV, XXVII).

## 6.2 CLIMATE AND WEATHER

The climatic conditions of the balance years 1987/88 and 1988/89 were similar to those of the preceding years. Once more the beginning of the accumulation and ablation seasons was delayed from average by a couple of weeks. Also in both winters, dry and warm periods at the beginning were followed by wet and cold ones leading mainly in the northern regions to a thick snow cover by the end of the winter season. Heavy melting due to very warm and dry periods in both summer seasons lead to large amounts of melt-water, and therefore, to low mass gains and to high mass losses on the glaciers (fig. 1.1, 1.2, 5.1 and 5.2). In most regions, the annual precipitation rate was normal in both years. As in most years, the extreme precipitation values ranged from very low to very high in particular areas (fig. 1.3a and 1.4a), which explains the difference in the mass balance values for different glaciers (table 5.1).

## 6.3 CHRONICLE

Some glaciological activities and particular glaciological events in the Swiss Alps are reported in this chapter. Further information can be found in the periodical 'ICE' of the International Glaciological Society [Haeberli, 1990]. A list of the flights made over glaciers for aerial photogrammetrical survey in the years 1988 and 1989 is given in table 2.1.

## 6.4 LENGTH VARIATIONS

The annual surveys on glacier length variations (table 3.1 to 3.3 and fig. 3.1 and 3.2) gave the following results:

Year	Number of glaciers				mean variation in length	
	advancing	stationary	retreating	sample size	[m]	number of values
1987/88	27	6	74	107	- 5.1	89
1988/89	19	3	83	105	- 9.1	85

Figure 3.3 shows a) the annual sample sizes (total numbers N of observed and M of measured glacier snouts), b) the fractions of advancing, stationary and retreating glaciers (as a percentage of the respective sample size N) and c) the mean annual variation in length (as an average of M values) for the years 1879/80 to 1988/89.

An overview over the most recent period of glacier advance is given in table 3.4 according to the frequency of the annual advances observed on each glacier's snout.

## 6.5 PHOTO SECTION

The photos are taken from the journal "Die Alpen". Figure captions are summarized in English in the table of contents (see p. XXVII).

## 6.6 MASS BALANCE

The specific changes in mass have been determined for 5 glaciers (table 5.1, 5.3 and 5.4). The following rates were observed (expressed in  $g/cm^2$  or cm water equivalent):

Year	Mass balances [cm]				
	Gries	Aletsch	Limmern	Plattalva	Silvretta
1987/88	-109	- 35	- 22	- 31	- 58
1988/89	-103	- 19	- 30	- 75	- 25

The balance years are defined in table 5.1 which also includes the glacierized surface areas and the equilibrium line altitudes. Hydrological balances for the catchment areas of the rivers Aegina, Massa and Rhone are given in table 5.2 and in figures 5.1 and 5.2. Surface area and volume changes of the **upper** and the **lower Aareglaciers** are presented in tables 5.5 and 5.6. Data on firm accumulation, thickness and velocity variations, collected on **Claridenfirn** (Glaronese Alps) and other glaciers, are presented in chapter 5.5 (table 5.7 to 5.12). This chapter continues a series of special reports, which have been published on that subject every year, since 1914. A list of the former reports with the names of the authors and editors is given in chapter 5.51 of the preceding 99./100. and 101./102. reports (1977/78 -1980/81).



## 7. LITERATUR - LITERATURE

- Aellen, M. 1989a: Die Gletscher der Schweizer Alpen im Jahr 1987/88. Auszug aus dem 109. Bericht der GK/SANW. -- Zeitschr. "Die Alpen" 4/1989, 65. Jg., S. 191-210. - *Les glaciers des Alpes suisses en 1987/88. Extrait du 109<sup>e</sup> rapport de la CG/ASSN.* -- Revue "Les Alpes" 4/1989, 65<sup>e</sup> année, p. 191-210.
- Aellen, M. 1989b: Gletscher - eine besondere geologische Formation. -- Zeitschr. "Die Alpen" 4/1989, 65. Jg., S. 211-210. - *Les glaciers - une formation géologique particulière.* -- Revue "Les Alpes" 4/1989, 65<sup>e</sup> année, p. 211-228.
- Aellen, M. 1990: Die Gletscher der Schweizer Alpen im Jahr 1988/89. Auszug aus dem 110. Bericht der GK/SANW. -- Zeitschr. "Die Alpen" 4/1990, 66. Jg., S. 220-240. - *Les glaciers des Alpes suisses en 1988/89. Extrait du 110<sup>e</sup> rapport de la CG/ASSN.* -- Revue "Les Alpes" 4/1990, 66<sup>e</sup> année, p. 220-240.
- Aellen, M. et Funk, M. 1990: Bilan hydrologique du bassin versant de la Massa et bilan de masse des glaciers d'Aletsch (Alpes bernoises, Suisse). -- IAHS Publ. 193, p. 89-98.
- BWW/LHG 1991: Ursachenanalyse der Hochwasser 1987 - Ergebnisse der Untersuchungen. -- Mitteilung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft 4 / Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie 14, Verlag EDMZ Bern, 192 S.
- Chen, J. and Funk, M. 1990: Mass balance of Rhonegletscher during 1882/83-1986/87. -- Journal of Glaciology 36, no. 123, p. 199-209.
- Flotron, A. 1979: Verschiebungsmessungen aus Luftbildern. -- Mitteilungen der VAW 41, Festschrift Peter Kasser, S. 39-44.
- Funk, M. 1985: Räumliche Verteilung der Massenbilanz auf dem Rhonegletscher und ihre Beziehung zu Klimaelementen. -- Zürcher Geographische Schriften 24, 183 S.
- Funk, M. and Müller, D. 1990: Waves induced by calving of Unteraargletscher. -- Proceedings of the IAHR-Ice Symposium Espo, p. 372-385.
- Güller, A. 1978: Klimatologie der Schweiz - Die Nullgradgrenze in der Schweiz 1951-1978 nach den Radiosondierungen von Payerne. -- Beiheft zu den Annalen der SMA, Jg. 1978, Heft 21/0.
- Haeberli, W. 1990a: Recent glaciological work in Switzerland (1988-1990). -- ICE. Bulletin of the Int. Glaciological Society 92, p. 6-16.
- Haeberli, W. (ed.) 1990b: Pilot analyses of permafrost cores from the active rock glacier Murtel I, Piz Corvatsch, eastern Swiss Alps. A workshop report. -- Arbeitsheft der VAW 9, 38 S.
- Haeberli, W. 1992: Eisstürze und Murgänge im Hochgebirge (Vorstudie). -- Nationales Forschungsprogramm 31 (NFP 31): "Klimaänderungen und Naturkatastrophen", 30 S.

- Haeberli, W., Schmid, W. and Wagenbach, D. 1988: On the geometry, flow and age of firn and ice at the Colle Gnifetti core drilling site (Monte Rosa, Swiss Alps). -- *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 24, S. 1-19.
- IAHS (ICSI) / UNEP / UNESCO 1988: *Fluctuations of Glaciers 1980-1985*, (W. Haeberli and P. Müller Ed.), Paris, 290 p.
- IAHS (ICSI) / UNEP / UNESCO 1989: *World Glacier Inventory - Status 1988*, (W. Haeberli, H. Bösch, K. Scherler, G. Østrem and C.C. Wallén Ed.), Nairobi, 390 p.
- Iken, A 1988: Adaption of the hot-water-drilling method for drilling to great depth. -- *Mitteilungen der VAW* 94, Festschrift Hans Röthlisberger, S. 211-230.
- Iken, A 1989: A light-weight hot-water-drill for large depth: experiences made with drilling on Jakobs-havn Glacier, Greenland. -- *Proceedings of the workshop on ice core drilling, Grenoble*, 10.-14. Oct. 1988, p. 123-136.
- Iken, A. and Bindschadler, R.A. 1986: Combined measurements of subglacial water pressure and surface velocity of the Findelengletscher, Switzerland. Conclusions about drainage system and sliding mechanism. -- *Journal of Glaciology* 32, no. 110, p. 101-119.
- Iken, A, Echelmeyer, K., Harrison, W. and Funk, M. 1993: Mechanisms of fast flow in Jakobshavn Isbræ, West Greenland: Part I. Measurements of temperature and water level in deep boreholes. -- *Journal of Glaciology* 39, no. 131, p. 15-25.
- Kasser, P. 1983: Die Variation der Wasservorräte im Einzugsgebiet der Rhone von Porte du Scex. -- 97. und 98. (1975/76 und 1976/77) Bericht der GK/SNG, Jb., Kap. 6.2, S. 148-183.
- Kasser, P., Aellen, M., und Siegenthaler, H. 1986: Die Gletscher der Schweizer Alpen, 99. und 100. (1977/78 und 1978/79) Bericht der GK/SNG, Jb., 288 S. - *Les variations des glaciers suisses, 99<sup>e</sup> et 100<sup>e</sup> (1977/78 et 1978/79) rapports de la CG/SHSN, Annuaire, 288 p.*
- LHG 1987-89: *Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz*. -- Hrsg. Landeshydrologie und -geologie, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Verlag EDMZ Bern. - *Annuaire hydrologique de la Suisse*. -- éd. Service hydrologique et géologique national de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, imp. OFIM, Berne.
- Mercanton, P.L. 1916: Vermessungen am Rhonegletscher 1874-1915. -- *Neue Denkschriften der Schweiz. Naturf. Ges.* 52, 190 S. - *Mensurations au Glacier du Rhône 1874-1915*. -- *Nouveaux mémoires de la Soc. Helv. des Sciences Naturelles* 52, 190 p.
- Müller, H. und Kappenberger, G. 1991: Claridenfirn - Messungen 1914-1984. -- *Zürcher Geographische Schriften* 40, 79 S.
- Schüepp, M. 1972: *Klimatologie der Schweiz, Teil 1 - Der Jahresgang der meteorologischen Elemente in der Schweiz*. -- Beiheft zu den *Annalen der SMA*, Jg. 1972, Heft 13/M, S. 1-120.
- Schüepp, M. 1983: Die Lufttemperaturen auf dem Säntis. -- 97. und 98. (1975/76 und 1976/77) Bericht der GK/SNG, Jb., Kap. 6.1, S. 136-147.

- Schweizer, J. 1989: Friction at the base of a glacier. -- Diss. ETHZ, Mitteilungen der VAW 101, 181 S.
- SLF 1988: Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen. Winterbericht des SLF Weissfluhjoch-Davos, Winter 1987/88. -- Verlag EDMZ Bern 52.
- SLF 1989: Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen. Winterbericht des SLF Weissfluhjoch-Davos, Winter 1988/89. -- Verlag EDMZ Bern 53.
- SMA 1987-89a: Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, Jg. 124 - 126.
- SMA 1987-89b: Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen auf den Meteorologischen und Regenmess-Stationen der Schweiz. -- Quartalshefte der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, 3/1987 - 4/1989.
- SMA 1987-89c: Täglicher Wetterbericht der SMA, 1. September 1987 - 31. Oktober 1989. -- *Bulletins meteorologiques quotidiens de l'ISM, 1<sup>er</sup> septembre 1987 - 31 octobre 1989.*
- SMA 1987-89d: Monatlicher Witterungsbericht der SMA, September 1987 - Oktober 1989. -- *Bulletins climatologiques mensuels de l'ISM, septembre 1987 - octobre 1989.*
- VAW 1988: Jahresbericht der VAW 1988, 98 S.
- VAW 1989a: Jahresbericht der VAW 1989, 94 S.
- VAW 1989b: Bericht No. 50.29 über die Hydrologie und Glaziologie des Griesseegebietes im Jahre 1987/88, im Auftrag der Kraftwerk Ägina AG, Ulrichen (unveröffentlicht).
- VAW 1990a: Bericht No. 50.30 über die Hydrologie und Glaziologie des Griesseegebietes im Jahre 1988/89, im Auftrag der Kraftwerk Ägina AG, Ulrichen (unveröffentlicht).
- VAW 1990b: Bericht No. 20.8 über die Gletscherkalbungsgeschwindigkeit in Süsswasser, im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG, Innertkirchen (unveröffentlicht).
- Vonder Mühl, D. and Haeberli, W. 1990: Thermal characteristics of the permafrost within the active rock glacier Murtèl/Corvatsch (Grisons, Swiss Alps). -- *Journal of Glaciology* 36, no. 123, p. 151-158.
- Zimmermann, M. 1990: Debris flows 1987 in Switzerland: geomorphological and meteorological aspects. -- *IAHS Publ.* 194, p. 387-393.
- Zryd, A. 1991: Conditions dans la couche basale des glaciers tempérés: contraintes, teneur en eau et frottement intérieur. -- *Mitteilungen der VAW* 114, 168 S.

## PUBLIZIERTE BERICHTE - RAPPORTS PUBLIÉS

Jährliche Berichte über die Veränderungen der Gletscher in den Schweizer Alpen, begonnen im Jahre 1880 durch F.A. Forel (1841-1912).

*Rapports annuels sur les variations des glaciers dans les Alpes suisses, créés en 1880 par F.A. Forel (1841-1912).*

<b>Verfasser der Berichte - Auteurs des rapports</b>	<b>Nr. - No.</b>	<b>Jahr - Année</b>
F.A. Forel	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 - 112	1983/84 - 1990/91

### **Verfasser der Jahrbücher - Auteurs des annuaires**

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 - 109/110	1981/82 - 1988/89

Die Berichte sind in den folgenden Zeitschriften erschienen - *Les rapports ont paru dans les périodiques suivants:*

### **Zeitschrift - Périodique**

	<b>Bericht Nr. - Rapport No.</b>
<i>ECHO DES ALPES</i> XVII - XVIII, Genève 1881 - 1882	1 - 2
<i>JAHRBUCH DES SAC - ANNUAIRE DU CAS</i> XVIII - LVIII, Bern 1883 - 1924	3 - 44
<i>DIE ALPEN - LES ALPES</i> , Jahrgang - <i>Année</i> 1-68, Bern 1925 - 1992	45 - 112*)

*) publiziert ohne Tabellen - <i>publiés sans les tableaux</i>	71 - 75
publiziert in gekürzter Fassung - <i>publiés en extrait</i>	85 - 112

### **erhältliche Sonderdrucke - Tirés-à-part disponibles**

<i>Extrait de la revue LES ALPES</i>	81 - 86
<i>Extrait complété de la revue LES ALPES</i>	87 - 90
<i>Publication de la Commission des glaciers de la SHSN</i>	91 - 93/94
Publikation der Gletscherkommission der SNG	93/94
Jahrbuch der Gletscherkommission - <i>Annuaire de la Commission des glaciers</i>	95/96 - 109/110