DIE GLETSCHER DER SCHWEIZER ALPEN
1991/92 und 1992/93

113. und 114. Bericht

LES VARIATIONS DES GLACIERS SUISSES
1991/92 et 1992/93

113e et 114e rapports

JAHRBUCH

DER GLAZIOLOGISCHEN KOMMISSION
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 GLACIOLOGIQUES
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

1998

DIE GLETSCHER DER SCHWEIZER ALPEN
1991/92 und 1992/93

113. und 114. Bericht

LES VARIATIONS DES GLACIERS SUISSES
1991/92 et 1992/93

113e et 114e rapports

Evelyne Ruth Herren, Bremgarten AG
Martin Hoelzle, VAW / ETHZ und GK / SANW

JAHRBUCH DER GLAZIOLOGISCHEN KOMMISSION DER SANW

ANNUAIRE DE LA COMMISSION GLACIOLOGIQUES DE L'ASSN

1998

Publikation mit Unterstützung der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften / SANW

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

Publikation der Glaziologischen Kommission 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 Glaciologiques 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

ISSN 1423-2820

Druck von Flawil Druck AG, 1998

Imprimé par Flawil Druck AG 1998

Glaziologische Kommission der SANW 1998

©

Commission glaciologique de l'ASSN 1998

VORWORT

Seit der letzten Ausgabe der Jahrbücher ist der langjährige Betreuer des Gletschermessnetzes, Herr Markus Aellen, an der VAW/ETHZ pensioniert (Februar 1996) worden und auf Ende 1996 aus der damaligen Gletscherkommission ausgetreten. Die Nachfolge hat Dr. M. Hoelzle übernommen.

Zudem erfuhr die Gletscherkommission einige Veränderungen. Im Januar 1997 wurde sie in "Glaziologische Kommission" umbenannt. Das Aufgabengebiet wurde stark erweitert, indem weitere Forschungsgebiete, insbesondere Schnee und Permafrost, integriert wurden. Aus diesem Grunde wurde die neue Kommission vergrössert und besteht nun aus 14 Mitgliedern aus den verschiedensten Bereichen des Themengebietes der Kryosphäre.

Das vorliegende Jahrbuch ist in seinen Grundzügen gleich aufgebaut wie die vorherigen, abgesehen von einigen erforderlichen Änderungen, Anpassungen und Kürzungen. Die zukünftigen Gletscherberichte werden in den nächsten Jahren neu gestaltet. Dies betrifft einerseits das Layout und andererseits auch den Inhalt.

PREFACE

Monsieur Markus Aellen, qui s'est occuppé du réseau d'observation des glaciers, pendant de nombreuses années, a pris sa retraite à fin février 1996 et a quitté la commission des glaciers à la fin de la même année. C'est Dr. M. Hoelzle qui a repris sa succession.

En plus la commission des glaciers a connu quelques changements. En janvier 1997 elle a été rebaptisée "Commission Glaciologique". On a étendu le champs d'activité en intégrant d'autres domaines de recherche, tels que la neige et le pergélisol. Pour cette raison la commission glaciologique s'est agrandie et quante aujourd'hui 14 membres sortant des différents domaines de la cryosphère.

L'actuel raport annuel est structuré comme les précédents, mis à part quelques petites modifications. Les raports glaciaires futurs seront restructurés dans les années à venir. Cela concerne aussi bien le contenu que le layout.

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, 1993 und 1994].

Das vorliegende Jahrbuch (113. und 114. Bericht) betrifft die Beobachtungsjahre 1991/92 und 1992/93.

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 die VAW/ETHZ 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 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 (Gries- und Silvrettagletscher) 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 - 5.5.3) 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.

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, 1993 et 1994].

Le présent volume (111e et 112e rapports) concerne les années 1991/92 et 1992/93.

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). Les VAW/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 "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 glaciers de Gries et de Silvretta) 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. 5.5.2-5.5.3).

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.

VERDANKUNGEN

Die Glaziologische Kommission 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 dürfen und stets auch schätzen.

Die Glaziologische Kommission dankt 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. Insbesondere dankt sie Herrn M. Aellen für seine langjährige Tätigkeit im Dienste der Kommission und seinen Vorarbeiten für den vorliegenden Bericht. Im weiteren dankt sie allen an den Übersetzungsarbeiten beteiligten Personen, namentlich Herrn F. Bonnet, der die Kurzberichte für die Zeitschrift "Die Alpen" ins Französische übersetzte und Frau C. Naguel, welche die übrigen Übersetzungsarbeiten erledigte.

REMERCIEMENTS

La Commission Glaciologiques remercie tous les observateurs et toutes les autres personnes ou institutions qui apportent, chaque année ou occasionellement, 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. Elle exprime sa reconnaissance à tout ceux qui, au cours des années du rapport, ont pris leur retraite, à leurs successeurs et aux nombreuses personnes ou institutions non citées qui, en travaillant à l'arrière plan, nous font profiter de tant de servives que, bien entendu, nous apprécions toujours.

La Commission Glaciologique 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 particulière elle remercie Monsieur M. Aellen pour son travail depuis plusieurs années pour la Commission et la préparation partielle du présent annuaire. En outre, elle remercie les personnes qui ont accompli les travaux de traduction, notemment Monsieur F. Bonnet, qui a traduit en français les rapports publiés dans la revue "Les Alpes" et Madame C. Naguel, pour les traductions additionelles.

INHALT

1. KLIMA UND WITTERUNG **1**
1.1 Einleitung 1
1.2 Klima und Witterung 1991/92 3
1.3 Klima und Witterung 1992/93 6

2. CHRONIK **25**
2.1 Tätigkeit und Ereignisse 1991/92 25
2.2 Tätigkeit und Ereignisse 1992/93 29

3. LÄNGENÄNDERUNG **45**
3.1 Einleitung 45
3.2 Längenänderung 1991/92 46
3.3 Längenänderung 1992/93 48
3.4 Bemerkungen zu einzelnen Gletschern 61

4. BILDTEIL **77**
4.1 Bildfolge 1991/92 77
4.2 Bildfolge 1992/93 79

5. MASSENHAUSHALT **83**
5.1 Einleitung 83
5.2 Massenänderung 1991/92 84
5.3 Massenänderung 1992/93 87
5.4 Aaregletscher 98
5.5 Schnee- und Firnzuwachs 102
5.5.1 Einleitung 102
5.5.2 Clariden 102
5.5.3 Engadin 106

6. SUMMARY **109**
6.1 Introduction 109
6.2 Climate and Weather 110
6.3 Chronicle 110
6.4 Length variations 111
6.5 Photo Section 111
6.6 Mass Balance 111

7. LITERATUR **112**

CONTENU

1. CONDITIONS CLIMATIQUES ***9***
1.1 Introduction *9*
1.2 Conditions climatiques 1991/92 *11*
1.3 Conditions climatiques 1992/93 *14*

2. CHRONIQUE ***33***
2.1 Activité et événements 1991/92 *33*
2.2 Activité et événements 1992/93 *37*

3. VARIATIONS DE LONGUEUR ***49***
3.1 Introduction *49*
3.2 Variations de longueur 1991/92 *50*
3.3 Variations de longueur 1992/93 *52*
3.4 Remarques concernant des glaciers individuels *61*

4. ILLUSTRATIONS PHOTOGRAPHIQUES ***78***
4.1 Photos 1991/92 *78*
4.2 Photos 1992/93 *81*

5. BILANS DE MASSE ***89***
5.1 Introduction *89*
5.2 Bilan de masse 1991/92 *90*
5.3 Bilan de masse 1992/93 *93*
5.4 Glaciers de l'Aar *98*
5.5 Accumulation nivale *102*
5.5.1 Introduction *102*
5.5.2 Clariden *102*
5.5.3 Engadine *106*

6. SUMMARY ***109***
6.1 Introduction *109*
6.2 Climate and Weather *110*
6.3 Chronicle *110*
6.4 Length Variations *111*
6.5 Photo Section *111*
6.6 Mass Balance *111*

7. REFERENCES ***112***

TABLE OF CONTENTS

1. CLIMATE AND WEATHER 1
- 1.1 Introduction 1
- 1.2 Climate and Weather 1991/92 3
- 1.3 Climate and Weather 1992/93 6

2. CHRONICLE 25
- 2.1 Activities and Events 1991/92 25
- 2.2 Activities and Events 1992/93 29

3. LENGTH VARIATIONS 45
- 3.1 Introduction 45
- 3.2 Length Variations 1991/92 46
- 3.3 Length Variations 1992/93 48
- 3.4 Remarks on individual Glaciers 61

4. PHOTO SECTION 77
- 4.1 Photos 1991/92 77
- 4.2 Photos 1992/93 79

5. MASS BALANCE 83
- 5.1 Introduction 83
- 5.2 Mass Balance 1991/92 84
- 5.3 Mass Balance 1992/93 87
- 5.4 Aare Glaciers 98
- 5.5 Snow and Firn Accumulation 102
  - 5.5.1 Introduction 102
  - 5.5.2 Clariden Glacier 102
  - 5.5.3 Engadine Region 106

6. SUMMARY 109
- 6.1 Introduction 109
- 6.2 Climate and Weather 110
- 6.3 Chronicle 110
- 6.4 Length Variations 111
- 6.5 Photo Section 111
- 6.6 Mass Balance 111

7. LITERATURE 112

TABELLEN

Tabelle 1.1:	Lufttemperatur 1992 - Gradtagsummen Mai-Oktober	16
	a) Absolute Werte	16
	b) Relative Werte	16
Tabelle 1.2:	Lufttemperatur 1993 - Gradtagsummen Mai-Oktober	17
	a) Absolute Werte	17
	b) Relative Werte	17
Tabelle 2.1:	Vermessungsflüge 1992 und 1993	41
	a) Jährlich	41
	b) Mehrjährlich	43
Tabelle 3.1:	Längenänderung 1991/92 - Zusammenfassung: Einzugsgebiete	54
Tabelle 3.2:	Längenänderung 1992/93 - Zusammenfassung: Einzugsgebiete	54
Tabelle 3.3:	Längenänderung 1991/92 und 1992/93	57
Tabelle 5.1:	Massenänderung 1991/92 und 1992/93	95
Tabelle 5.2:	Wasserhaushalt eines vergletscherten Einzugsgebietes, Massa (Aletschgletscher) 1991/92 und 1992/93	96
Tabelle 5.3:	Griesgletscher (Ägina) - Massenänderung 1991/92 und 1992/93 in Höhenstufen	97
Tabelle 5.4:	Silvrettagletscher - Massenänderung 1991/92 und 1992/93 in Höhenstufen	97
Tabelle 5.5:	Aaregletscher 1991/92	100
	a) Dickenänderung und Bewegung	100
	b) Flächen- und Volumenänderung	100
Tabelle 5.6:	Aaregletscher 1992/93	101
	a) Dickenänderung und Bewegung	101
	b) Flächen- und Volumenänderung	101
Tabelle 5.7:	Claridenfirn 1991/92	104
	a) Schnee- und Firnzuwachs, Dickenänderung und Bewegung	104
	b) Saison- und Jahresniederschlag	104
Tabelle 5.8:	Claridenfirn 1992/93	105
	a) Schnee- und Firnzuwachs, Dickenänderung und Bewegung	105
	b) Saison- und Jahresniederschlag	105
Tabelle 5.9:	Berninagebiet	108
	a) Firnzuwachs und Dickenänderung 1991/92 und 1992/93	108
	b) Firnzuwachs - Mehrjahreswerte	108

TABLEAUX

Tableau 1.1:	*Température de l'air 1992 - Sommes des degrés-jour mai-octobre*	*16*
	a) Valeurs absolues	*16*
	b) Valeurs relatives	*16*
Tableau 1.2:	*Température de l'air 1993 - Sommes des degrés-jour mai-octobre*	*17*
	a) Valeurs absolues	*17*
	b) Valeurs relatives	*17*
Tableau 2.1:	*Vols photogrammétriques 1992 et 1993*	*41*
	a) Annuels	*41*
	b) Pluriannuels	*43*
Tableau 3.1:	*Variations de longueur 1991/92 - Récapitulations: Bassins versants*	*54*
Tableau 3.2:	*Variations de longueur 1992/93 - Récapitulations: Bassins versants*	*54*
Tableau 3.3:	*Variations de longueur 1991/92 et 1992/93*	*57*
Tableau 5.1:	*Bilans de masse 1991/92 et 1992/93*	*95*
Tableau 5.2:	*Bilans hydrologiques 1991/92 et 1992/93 de bassins versants englacés, Massa (glaciers d'Aletsch)*	*96*
Tableau 5.3:	*Glacier de Gries (Aegina) - Bilans de masse 1991/92 et 1992/93 en fonction de l'altitude*	*97*
Tableau 5.4:	*Glacier de Silvretta - Bilans de masse 1991/92 et 1992/93 en fonction de l'altitude*	*97*
Tableau 5.5:	*Glaciers de l'Aar 1991/92*	*100*
	a) Variations d'épaisseur et du mouvement	*100*
	b) Variations de surface et du volume	*100*
Tableau 5.6:	*Glaciers de l'Aar 1992/93*	*101*
	a) Variations d'épaisseur et du mouvement	*101*
	b) Variations de surface et du volume	*101*
Tableau 5.7:	*Glacier de Clariden 1991/92*	*104*
	a) Accumulation nivale, variations d'épaisseur et mouvement	*104*
	b) Pluviosités saisonnière et annuelle	*104*
Tableau 5.8:	*Glacier de Clariden 1992/93*	*105*
	a) Accumulation nivale, variations d'épaisseur et mouvement	*105*
	b) Pluviosités saisonnière et annuelle	*105*
Tableau 5.9:	*Massif de la Bernina*	*108*
	a) Accumulation nivale et variations d'épaisseur 1991/92 et 1992/93	*108*
	b) Accumulation nivale - Valeurs pluriannuelles	*108*

TABLES

Table 1.1:	Air temperature 1992 - Degree-days Mai-October	16
	a) Absolute values	16
	b) Relative values	16
Table 1.2:	Air temperature 1993 - Degree-days Mai-October	17
	a) Absolute values	17
	b) Relative values	17
Table 2.1:	Aerial survey of glaciers 1992 and 1993	41
	a) Annual intervals	41
	b) Intervals of several years	43
Table 3.1:	Length variations 1991/92 - Summary: River basins	54
Table 3.2:	Length variations 1992/93 - Summary: River basins	54
Table 3.3:	Length variations 1991/92 and 1992/93	57
Table 5.1:	Mass balances 1991/92 and 1992/93	95
Table 5.2:	Hydrological balances 1991/92 and 1992/93 of a glaciated river basin, Massa (Aletsch glaciers)	96
Table 5.3:	Gries glacier (Aegina) - Mass balances 1991/92 and 1992/93 versus altitude	97
Table 5.4:	Silvretta glacier - Mass balances 1991/92 and 1992/93 versus altitude	97
Table 5.5:	Oberaar and Unteraar glaciers 1991/92	100
	a) Change of thickness and movement	100
	b) Change of area and volume	100
Table 5.6:	Oberaar and Unteraar glaciers 1992/93	101
	a) Change of thickness and movement	101
	b) Change of area and volume	101
Table 5.7:	Clariden glacier 1991/92	104
	a) Snow and firn accumulation, change of thickness and movement	104
	b) Seasonal and annual precipitation	104
Table 5.8:	Clariden glacier 1992/93	105
	a) Snow and firn accumulation, change of thickness and movement	105
	b) Seasonal and annual precipitation	105
Table 5.9:	Glaciers of the Bernina group	108
	a) Firn accumulation and change of thickness 1991/92 and 1992/93	108
	b) Firn accumulation - Values of several years	108

ABBILDUNGEN

Abbildung 1.1: Witterung 1991/92 18
a) Zürich: Lufttemperatur und Niederschlag 18
b) Payerne: Nullgrad-Isotherme 18
c) Jungfraujoch: Lufttemperatur 19
d) Säntis: Niederschlag 19

Abbildung 1.2: Witterung 1992/93 20
a) Zürich: Lufttemperatur und Niederschlag 20
b) Payerne: Nullgrad-Isotherme 20
c) Jungfraujoch: Lufttemperatur 21
d) Säntis: Niederschlag 21

Abbildung 1.3: Klima 1991/92 - Abweichungen vom Normalwert 1901-1960 22
a) Jahresniederschlag 1991/92 22
b) Sommertemperatur 1992 22

Abbildung 1.4: Klima 1992/93 - Abweichungen vom Normalwert 1901-1960 23
a) Jahresniederschlag 1992/93 23
b) Sommertemperatur 1993 23

Abbildung 3.1: Gletscherbeobachtungsnetz, Längenänderungen 1992 55

Abbildung 3.2: Gletscherbeobachtungsnetz, Längenänderungen 1993 55

Abbildung 3.3: Längenänderung - Statistik 1880-1993 56
a) Stichproben 56
b) Anteile der wachsenden, stationären und schwindenden Gletscher 56

Abbildung 5.1: Aaregletscher - Lage der Querprofile 99

FIGURES

Figure 1.1: *Conditions météorologiques 1991/92* 18
a) Zurich: Température de l'air et pluviosité 18
b) Payerne: Isotherme zéro degré 18
c) Jungfraujoch: Température de l'air 19
d) Saentis: Pluviosité 19

Figure 1.2: *Conditions météorologiques 1992/93* 20
a) Zurich: Température de l'air et pluviosité 20
b) Payerne: Isotherme zéro degré 20
c) Jungfraujoch: Température de l'air 21
d) Saentis: Pluviosité 21

Figure 1.3: *Conditions climatiques 1991/92 - Ecarts par rapport à la norme 1901-1960* 22
a) Pluviosité 1991/92 22
b) Température estivale 1992 22

Figure 1.4: *Conditions climatiques 1992/93 - Ecarts par rapport à la norme 1901-1960* 23
a) Pluviosité 1992/93 23
b) Température estivale 1993 23

Figure 3.1: *Réseau d'observations glaciaires 1992, Variations de longueur* 55

Figure 3.2: *Réseau d'observations glaciaires 1993, Variations de longueur* 55

Figure 3.3: *Variations de longueur - Statistique 1880-1993* 56
a) Echantillons 56
b) Parts relatives des glaciers en crue, stationnaires ou en décrue 56

Figure 5.1: *Glaciers de l'Aar - Situation des profils transversaux* 99

FIGURES

Figure 1.1:	Weather 1991/92	18
	a) Zurich: Air temperature and precipitation	18
	b) Payerne: Zero degree isothermal surface	18
	c) Jungfraujoch: Air temperature	19
	d) Saentis: Precipitation	19
Figure 1.2:	Weather 1992/93	20
	a) Zurich: Air temperature and precipitation	20
	b) Payerne: Zero degree isothermal surface	20
	c) Jungfraujoch: Air temperature	21
	d) Saentis: Precipitation	21
Figure 1.3:	Climate 1991/92 - Deviations from the norm 1901-1960	22
	a) Annual precipitation 1991/92	22
	b) Mean summer air temperature 1993	22
Figure 1.4:	Climate 1992/93 - Deviations from the norm 1901-1960	23
	a) Annual precipitation 1992/93	23
	b) Mean summer air temperature 1993	23
Figure 3.1:	Glacier observation network, observed glaciers 1992	55
Figure 3.2:	Glacier observation network, observed glaciers 1993	55
Figure 3.3:	Length variations - Statistics 1880-1993	56
	a) Samples	56
	b) Percentages of advancing, stationary and retreating glaciers	56
Figure 5.1:	Oberaar and Unteraar glaciers - Location of the profiles	99

BILDER

1991/92

Bilder 1 und 2:	Griesgletscher (Ägina)	77
Bilder 3 und 4:	Paradiesgletscher (Rheinwaldhorn, Adula)	77
Bild 5:	Vedreit da Camp (Paradisino)	77
Bilder 6 - 13:	Glacier de Giétro	77

1992/93

Bilder 1 - 5:	Rosenlauigletscher	79
Bild 6:	Vedreit da Camp (Paradisino)	79
Bilder 7 - 9:	Birchgletscher	79
Bilder 10 - 12:	Hängegletscher am Kleinen Eiger	79
Bilder 13 und 14:	Valleggiagletscher (Bedretto)	80

ILLUSTRATIONS

1991/92

Photos 1 et 2:	*Glacier de Gries (Aegina)*	*78*
Photos 3 et 4:	*Glacier du Paradis (Rheinwaldhorn, Adula)*	*78*
Photo 5:	*Vedreit da Camp (Paradisino)*	*78*
Photos 6 - 13:	*Glacier de Giétro*	*78*

1992/93

Photos 1 - 5:	*Glacier de Rosenlaui*	*81*
Photo 6:	*Vedreit da Camp (Paradisino)*	*81*
Photos 7 - 9:	*Glacier de Birch*	*81*
Photos 10 - 12:	*Glacier suspendu du Petit Eiger*	*81*
Photos 13 et 14:	*Glacier de Valleggia (Bedretto)*	*82*

PICTURES

1991/92

Photos 1 and 2:	Griesgletscher (Aegina)	77
Photos 3 and 4:	Paradiesgletscher (Rheinwaldhorn, Adula)	77
Photo 5:	Vedreit da Camp (Paradisino)	77
Photos 6 - 13:	Glacier de Giétro	77

1992/93

Photos 1 - 5:	Rosenlauigletscher	79
Photo 6:	Vedreit da Camp (Paradisino)	79
Photos 7 - 9:	Birchgletscher	79
Photos 10 - 12:	Hanging glacier on the west-facing slope of Eiger	79
Photos 13 and 14:	Valleggiagletscher (Bedretto)	80

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 Stationen Zürich und Jungfraujoch, indem für jeden Tag der aktuelle Wert [SMA, 1991-93a] und der langjährige Mittelwert [Schüepp, 1972] aufgezeichnet sind. Der Niederschlag ist angegeben durch die Tagessummen [SMA, 1991-93b] der Stationen Zürich und 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, 1991-93c] 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, 1991-93d] 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). Sie sind dargestellt durch ihre Abweichung vom Normalwert, die für 110 Stationen des Niederschlagsmessnetzes und für 56 Stationen des automatischen Temperaturmessnetzes der SMA als statistische Indexzahl berechnet und gemäss diesem Index den Klassen geringer, starker oder sehr starker Abweichung nach oben (positiv) oder nach unten (negativ) zugeteilt ist. Aufgrund der klassierten Werte sind die Zonen gleicher Abweichung abgegrenzt und in vereinfachender Weise wiedergegeben. Da sich bei den Sommertemperaturen 1992 und beim Jahresniederschlag 1992/93 fast ausschliesslich positive und vielfach ausserordentlich grosse Abweichungen (Indexwerte über 3, in einzelnen Fällen bis 5) ergaben, sind auch die Zonen +3 und +4 ausgeschieden. Die Werte der Klasse +5 sind durch besondere Signaturen angezeigt. In einer normal verteilten Stichprobe mit 1000 Einzelwerten enthalten die Klassen -3 und +3 (Indexzahlen zwischen 3 und 4) je 18, die Klassen -4 und +4 (Indexzahlen zwischen 4 und 5) je 4 Einzelwerte. In einer Zeitreihe mit Jahreswerten sind demgemäss Werte der Klasse +4 im Durchschnitt etwa einmal in 250 Jahren zu erwarten und Werte der Klasse 5 als Jahrtausendereignis zu betrachten. Die Terminologie

von Uttinger [1966] bezeichnet Werte der Klasse +3 als 'ungewöhnlich', solche der Klasse +4 als 'ausserordentlich' gross.

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 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, 1993 und 1994].

Die Beschreibung der Klima- und Witterungsverhältnisse (Kap. 1.2 und 1.3) entspricht bis auf notwendige Anpassungen der publizierten Fassung [Aellen, 1993 und 1994].

1.2 KLIMA UND WITTERUNG 1991/92

Der Witterungsablauf im Berichtsjahr ist gekennzeichnet durch vorwiegend überdurchschnittliche, oft hohe bis sehr hohe, zeitweise sogar extrem hohe Werte der Lufttemperatur und - verglichen mit den meisten der letzten zehn Jahre - ziemlich gleichmässig über das Jahr verteilte Niederschläge. Auch die räumliche Verteilung des Jahresniederschlags (Abb. 1.3a) erscheint weniger deutlich nach Regionen gegliedert als in früheren Jahren. Dagegen treten regionale Muster bei den Sommertemperaturen (Abb. 1.3b) ungewohnt deutlich in Erscheinung.

In Bezug auf den Massenhaushalt der Gletscher weist das Bilanzjahr 1991/92 folgende, aus den Berechnungen des täglichen Wasserhaushalts im Aletschgebiet ermittelte Eigentümlichkeiten auf:

- Die Zuwachsperiode begann am 26. September (eine Woche früher als im Durchschnitt der Periode 1931/87), endete vorzeitig am 3. Mai (statt 1. Juni), dauerte 220 (statt 239) Tage und ergab knapp überdurchschnittliche Rücklagen.
- In der Schwundperiode, die am 4. Mai (vier Wochen zu früh) begann und nach einer Dauer von 147 (statt 126) Tagen am 26. September (eine Woche zu früh) endete, war der Abtrag um 20 Prozent grösser als im Mittel und etwa gleich gross wie 1990 (in 153 Tagen) oder 1991 (in 100 Tagen).

Der natürliche Jahreszyklus des Wasserhaushalts (26.9.1991 - 26.9.1992) stimmte nahezu überein mit dem hydrologischen Jahr (kalendermässig festgelegter Beginn am 1. Oktober). Die laufende Haushaltsrechnung pendelte mit vorwiegend geringen Abweichungen um den Normalwert, bis im August das Massendefizit entstand, das die Jahresbilanz bestimmte. Gemäss der Jahresbilanz haben die natürlicherweise im Aletschgebiet gespeicherten Wassermengen im Berichtsjahr etwa gleich viel abgenommen wie im Durchschnitt der beiden letzten Jahre. Vorausgesetzt, sie sei vollumfänglich durch den Gletscherschwund bedingt, entspricht diese Zehrung an den Wasservorräten einer durchschnittlichen Absenkung der Gletscheroberfläche um rund 0.7 Meter.

Witterung

Der Witterungsverlauf des Berichtsjahrs vom September 1991 bis Oktober 1992 ist veranschaulicht in der Abbildung 1.1. Die Temperaturwerte des Berichtsjahrs überstiegen den Normalwert vor allem im Hochwinter extrem weit und im Hochsommer fast dauernd sehr weit. Während dieser Wärmeperioden stieg die Nullgradisotherme zu wiederholten Malen in ungewöhnlich grosse Höhen auf; im Winter lag sie verschiedentlich über 3000 Metern im mittleren Höhenbereich der Gletscher und der Gleichgewichtslinie des Massenhaushalts; im Sommer verharrte sie längere Zeit über 4000 Metern, oft sogar über der Gipfelhöhe der Hochalpen, so dass auch in den höchstgelegenen Firngebieten intensives Schmelzen einsetzte und ungewöhnlich lange anhielt. Kälteperioden traten in allen Monaten mit sehr unterschiedlicher Häufigkeit und Intensität auf. Dauerhaft kühl war es im Juni und in der ersten Julihälfte, ein Kälteeinbruch anfangs September brachte Schneefall bis unter die Waldgrenze. Auf den Massenhaushalt der Gletscher wirkten sich die Wärmeperiode im Mai und die Kälteperiode im Frühsommer zunächst ausgleichend aus, indem die verfrüht in Gang gekommene Schneeschmelze im Hochgebirge wieder verzögert, der vorzeitige Abtrag durch Schneezuwachs auf das Normalmass vermindert wurde. Massgebend für das Defizit in der Bilanz

war in erster Linie die überaus intensive Gletscherschmelze im Hochsommer, die von Mitte Juli bis Ende August fast ununterbrochen wirksam war. Die Temperaturwechsel im September hatten auf das Bilanzergebnis wenig Einfluss, der Schneezuwachs am Monatsanfang und die Gletscherschmelze um die Monatsmitte glichen sich weitgehend aus. Das Monatsmittel der Lufttemperatur lag in den meisten Monaten an allen Stationen mehr oder weniger weit über dem Normalwert. Zu kalt war es im Dezember überall ausser an den Bergstationen, im Januar nur in den Niederungen und in den Alpentälern, wo sich Kaltluft ansammelte, sowie im Juni allgemein in der Westschweiz und im Südtessin. Die grössten Wärmeüberschüsse wurden im Januar in Berglagen (bis 4.5°C; wärmster Januar seit 1901 auf dem Säntis) und im August in den nördlichen und östlichen Landesteilen verzeichnet (bis 5.1°C; wärmster August seit Messbeginn in Zürich, anno 1864, und Basel, anno 1808).

Die dargestellte Niederschlagsreihe des Säntis ergibt eine leicht unterdurchschnittliche Jahressumme wie an den meisten Stationen in den nördlichen Voralpen und im Mittelland. Die Niederschlagsmengen der Monate waren sehr unterschiedlich und oft gegensätzlich auf die verschiedenen Regionen verteilt. Im September erhielten die Westschweiz und die Alpensüdseite viel Niederschlag. Im Oktober war es im Westen zu nass, im Osten zu trocken, im November auf der Alpennordseite zu nass, im Süden und Osten zu trocken. Nach einer trockenen ersten brachte die zweite Monatshälfte im Dezember der Nordschweiz viel, dem Alpengebiet sehr viel, der Südschweiz wenig Niederschlag. Trockenheit auf der Alpennordseite und Nässe auf der Südseite im Januar wurden abgelöst durch gegensätzliche Verhältnisse im Februar. Im März erhielt vor allem das östliche Alpengebiet sehr viel Niederschlag, der Süden die normale Menge erst am Monatsende, nach 38 niederschlagsfreien Tagen. Ziemlich trocken war der April grossenteils im Alpengebiet und allgemein im Süden, sehr trocken der Mai in der Deutschschweiz. Besonders nass war der Juni im Westen und Süden, der Juli am Genfersee und im Wallis. Im August fiel wenig Niederschlag in allen Landesteilen mit Ausnahme der zentralen und östlichen Alpen, wo Gewitterstürme mit Hagelschlag normale Regenmengen ausgossen. Im September ergab sich wie im Vorjahr ein starkes Niederschlagsgefälle vom Überfluss in der Südschweiz zum Mangel in der Nordschweiz. Dieses wechselhafte Niederschlagsregime trug wesentlich bei zu einem ziemlich ausgeglichenen Jahresgang im Massenhaushalt der Gletscher während der Zuwachsperiode und in der ersten Hälfte der Schwundperiode. In dieser Zeitspanne waren das Manko vor und der Überschuss nach den ergiebigen Schneefällen im Dezember die grössten Abweichungen vom Normalwert der laufenden Bilanzrechnung. Das Massendefizit, das sich im Laufe des trockenen Hochsommers einstellte, wurde durch Schneefälle anfangs September nur vorübergehend vermindert.

Klima

Das Klima des Berichtsjahres ist in Abbildung 1.3 veranschaulicht. Die Summe der Niederschläge von Oktober 1991 bis September 1992 lag im allgemeinen innerhalb des Normalbereichs, im nördlichen und östlichen Alpenraum mehrheitlich über, in den übrigen Gebieten mehrheitlich unter dem Mittelwert. Viel Niederschlag erhielten einzelne Stationen in den westlichen Berner Alpen (Gsteig, Kiental, Ried), im oberen Reusstal (Göscheneralp), in den Bündner Alpen (Vals, Klosters, Martina) und im Tessin (Brusio). Wenig Niederschlag fiel im Alpen- und Voralpengebiet der Zentralschweiz (Haslital, Engelberg, Kanton Schwyz), im Sarganserland und an einzelnen Orten im Mittelland. Sehr trocken war es am Bodensee.

Vom Mai bis September 1992 war es - trotz kühlem Sommeranfang - im ganzen Land viel wärmer als normal. Auch Zermatt mit dem kleinsten Wärmeüberschuss aller berücksichtigten Stationen erlebte einen ausgesprochen warmen Sommer. Vom Waadtland bis ins westliche Tessin war es wie im Puschlav sehr warm, am Genfersee, im Unterwallis, im Nordjura und vom Neuenburgersee durch die Zentralschweiz bis in die Bündner- und Tessiner Alpen ungewöhnlich warm. In den übrigen Gebieten, vom Bielersee durch das Mittelland und die Nordostschweiz bis ins Prätigau wie auch im Oberengadin war der ausserordentlich warme Sommer 1992 einer der wärmsten dieses Jahrhunderts.

1.3 KLIMA UND WITTERUNG 1992/93

In klimatischer Hinsicht unterscheidet sich das ausgesprochen warme und überaus nasse Berichtsjahr vor allem durch viel grössere Niederschlagswerte, die den Normalwert meistenorts weit, manchenorts sogar extrem weit überstiegen, vom Vorjahr mit ziemlich normalen und von den vorangehenden Jahren mit unternormalen Jahressummen. Die Temperaturen lagen im Berichtsjahr wie seit gut einem Jahrzehnt häufiger über dem Normalwert als darunter. Bei kürzerer Dauer und geringerer Intensität der Sommerhitze blieb der Wärmeüberschuss gesamthaft jedoch wesentlich kleiner als im extrem warmen Vorjahr. Der Winter war nach kühlem und sehr nassem Beginn zeitweise überaus mild und trocken. Im Frühjahr und Sommer lösten sich kühle Niederschlagsperioden und warme Tockenperioden in vielfachem Wechsel ab. Der kühle und meistenorts sehr nasse Herbst ging mit frühen Schneefällen vorzeitig zu Ende.

Witterung

Der Witterungsverlauf des Berichtsjahrs vom September 1992 bis Oktober 1993 ist veranschaulicht in der Abbildung 1.2. Das wechselhafte, vorwiegend durch Wärme und Nässe geprägte Wettergeschehen im hydrologischen Jahr 1992/93 ist kurz und bündig beschrieben in den Überschriften der monatlichen Witterungsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt [SMA, 1991-93d]:

1992	Oktober:	Tiefdruckparade über Mitteleuropa.
	November:	Regenzeit.
	Dezember:	Aus dem Tief in das Hoch.
1993	Januar:	Winterliche Kälte weicht rasch dem Vorfrühling.
	Februar:	Wintereinbruch kurz vor Frühlingsbeginn.
	März:	Vom Winter in den Frühling und wieder zurück.
	April:	Launenhaft und warm.
	Mai:	Sehr warm und trotz vielen Gewittern überwiegend trocken.
	Juni:	Nur im ersten Monatsdrittel Sommerwetter.
	Juli:	Niederschlagsrekorde und massive Temperaturschwankungen.
	August:	Hochsommerlich warm und sonnig mit herbstlich kühlem Ende.
	September:	Im Süden und Westen trüb und sehr nass.

Sie bringen zum Ausdruck, dass in den verschiedenen Landesteilen zeitweilig gegensätzliche Verhältnisse auftraten. So war es im Süden und Westen mehrmals, vor allem im April und September, viel zu nass, im Norden und Osten dagegen deutlich zu trocken. Umgekehrt brachten im Juli starke Gewitter den östlichen Landesteilen vielfach die grössten Niederschlagssummen dieses Monats in den letzten hundert Jahren, wogegen im Westen und Süden unterdurchschnittliche Werte zu verzeichnen waren.

Für das Massenhaushaltsjahr der Gletscher im Aletschgebiet ergibt sich aus den Tagesbilanzen über den Wasserhaushalt im Einzugsgebiet der Massa folgender Ablauf: Die Zuwachsperiode vom 26. September bis 20. Mai dauerte wie im langjährigen Durchschnitt 239 Tage, begann und endete jedoch 10 Tage vor

dem Normaltermin. Frühe Schneefälle brachten bis Mitte Dezember überdurchschnittlichen Zuwachs, den die Niederschlagsarmut des Hochwinters bis Ende März auf normale Werte zurückführte. Nach erneutem Zuwachs blieb die Mächtigkeit der Winterschneedecke ab Anfang April bis weit in den Sommer hinein deutlich über dem normalen Wert.

Die Schwundperiode vom 21. Mai bis 12. September war mit einer Dauer von 114 Tagen fast zwei Wochen kürzer als im Durchschnitt und endete somit rund drei Wochen vor dem Normaltermin. Nach frühem Beginn und zeitweiligen Unterbrüchen im Juni und Juli verlief die Schneeschmelze einigermassen normal, bis die Hitzeperiode im August die bis dahin übermässigen Winterschneereste in der ersten Monatshälfte auf das durchschnittliche Mass abbaute und in der zweiten mehr oder weniger restlos verflüssigte. Nachdem sich im September Niederschlag und Abfluss zunächst weitgehend ausgeglichen hatten, gelangten die starken Niederschläge in der zweiten Monatshälfte nur noch teilweise zum Abfluss, womit sich bereits erste Rücklagen für das Haushaltsjahr 1993/94 ergaben.

Der Jahreszyklus vom 26. September 1992 bis 12. September 1993 war demzufolge rund zwei Wochen kürzer als im langjährigen Durchschnitt und gegenüber dem normalen Anfangs- und Endtermin deutlich vorverschoben.

Klima

Das Klima des Berichtsjahres ist in Abbildung 1.4 veranschaulicht. Die Niederschlagssummen von Oktober 1992 bis September 1993 schwanken ausserodentlich stark von unternormalen bis zu extrem hohen Werten und ebenso von Ort zu Ort (Abb. 1.4a). Im Gegensatz zum Vorjahr mit mehrheitlich normalen Werten zeigen sie ein vielfältig verschlungenes Verteilungsmuster. Viel zu trocken war es ausser im Südtessin nur in Nordbünden. Normale Werte traten im Alpenraum von Nordbünden bis ins Engadin und Tessin auf, ebenso im föhnexponierten Gebiet zwischen Reusstal und Haslital. Extrem hohe Werte waren grossräumig verbreitet von der Westschweiz bis zum Quellgebiet des Rheins, in der Ost- und Nordschweiz dagegen begrenzt auf einzelne Regionen wie das Silvretta- und Säntisgebiet nebst weiteren Gebieten am Rand oder ausserhalb der Alpen.

Viel ausgeglichener und regelmässiger verteilt als der Jahresniederschlag war die durchschnittliche Lufttemperatur von Mai bis September 1993, die den Normalwert durchwegs knapp bis sehr weit überschritt (Abb. 1.4b). Innerhalb normaler Grenzen blieben die Sommertemperaturen nur im Südwallis und in einer schmalen Zone, die den Bereich der hohen Niederschlagswerte von der Westschweiz zum Nordtessin durchzieht. Im übrigen Alpengebiet war es meistenteils wärmer als normal, ausser in den westlichen und nördlichen Randgebieten im Bereich der viel zu warmen Zonen am Genfersee und in der Nordschweiz. In den Zonen mit normaler Temperatur befinden sich das Monte Rosa- und das Finsteraarhornmassiv mit den bedeutendsten Gletschermassen der Schweizer Alpen.

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 les stations de Zurich et du Jungfraujoch, les valeurs moyennes actuelle [SMA, 1991-93a] et pluri-annuelle [Schüepp, 1972] de la température de l'air. Les précipitations [SMA, 1991-93b] sont indiquées par les sommes journalières mesurées aux stations de Zurich et 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, 1991-93c]. 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 pluri-annuelle 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 pluri-annuelles 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, 1991-93d]. 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 simplifiées par les précipitations annuelles (fig. 1.3a et 1.4a) et par les températures estivales (fig. 1.3b et 1.4b). Les données de base sont fournies par 110 stations du réseau pluviométrique et 56 stations du réseau automatique d'observation de l'ISM. Ces écarts, calculés sous forme d'indices statistiques, désignent des zones de variation identique (faible, forte ou très élevée), vers le haut (écart positif) ou vers le bas (écart négatif). Du dessin très simplifié de ces zones, il ressort que les températures de l'été 1992 et la pluviosité de l'année 1992/ 93 ne présente presque que des écarts positifs; ceux-ci sont même si extraordinairement marqués (indices dépassant souvent 3 et quelquefois supérieurs à 5) que les zones +3, +4 et +5 ont été mises en évidence, parfois par des signes conventionnels (vu leur superficie réduite; toutes les zones +5, par exemple). A ce propos, la statistique nous apprend que, dans un échantillon composé de 1000 valeurs indépendantes et distribuées normalement, 18 d'entre elles

tombent dans les classes -3 et +3 (indices compris entre 3 et 4), et 4 seulement dans les classes -4 et +4 (indices compris entre 4 et 5). Pour une serie continue de données annuelles, cela signifie qu'une valeur attribuée à la classe +4 ne survient en moyenne qu'une fois tous les 250 ans et qu'une valeur de la classe +5 peut être considérée comme l'exception millénaire. Selon la terminologie d'Uttinger [1966], les valeurs de la classe +3 sont qualifiées d'"inhabituellement" élevées, et celles de la classe +4 d'"extraordinairement") élevées.

Les réserves exprimées dans les rapports précédents concernant la comparabilité des donnés climatiques avec les données du bilan de masse sont toujours valables, tant que les remarques concernant l'homogénéité des series 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, 1993 et 1994].

La description des conditions climatiques (chap. 1.2 et 1.3) est reproduite (à quelques modifications près) telle qu'elle a été publiée [Aellen, 1993 et 1994].

1.2 CONDITIONS CLIMATIQUES 1991/92

Les conditions météorologiques de cette année se caractérisent par une température de l'air presque toujours supérieure à la moyenne pluri-annuelleet atteignant souvent des valeurs très élevées à extrêmes. Quant à la pluviosité, elle se répartit, contrairement à la situation durant la plus grande partie de ces dix dernières années, de manière assez uniforme sur les douze mois. Il en est de même de la distribution spatiale des précipitations annuelles (fig. 1.3a, nettement plus équilibrée sur les différentes contrées. En revanche, les disparités régionales de la température estivale sont très nettes (fig. 1.3b).

Pour l'exercice 1991/92, le bilan de masse des glaciers présente les particularités suivantes, déduites du calcul des bilans hydrologiques journaliers des glaciers de la région d'Aletsch:

- *La période d'accroissement a débuté le 26 septembre 1991 (une semaine plus tôt que la date moyenne calculée sur la période 1931-1987) et s'est terminée à la date précoce du 3 mai 1992 (au lieu du 1er juin). Elle a duré 220 jours (au lieu de 239) et a fourni des réserves à peine supérieures à la normale.*
- *Durant la période de fusion de 147 jours (au lieu de 126 en moyenne), du 4 mai (quatre semaines trop tôt), au 26 septembre (une semaine trop tôt), l'ablation totale, atteignant 20 pour cent de plus que la moyenne pluri-annuelle, s'est révélée à peu près équivalente à celles de 1990 (153 jours) et de 1991 (100 jours).*

Déterminé par les conditions naturelles, le cycle du bilan hydrologique annuel (du 26.9.91 au 26.9.92) coïncide presque exactement avec l'année du même nom, dont le début est fixé au 1er octobre. Les calculs du bilan hydrologiques journalier ont mis en évidence des écarts oscillant tout d'abord faiblement autour de la moyenne, ceci jusqu'en août, où l'importante perte de masse caractérisant le bilan annuel est apparue. Ce dernier montre, en fin de compte, que les réserves en eau accumulées dans la région d'Aletsch ont diminué durant ce dernier exercice d'une quantité presque égale à la moyenne du déficit de ces deux dernières années. En supposant qu'il s'est produit exclusivement par fusion de la masse glaciaire, ce prélèvement correspond à un abaissement général de la surface du glacier de 0.7 m.

Conditions météorologiques

Le déroulement des conditions météorologiques de septembre 1991 à octobre 1992 est représenté à la figure 1.1. Durant l'exercice considéré, la température a dépassé la valeur moyenne pluri-annuelle de manière extrême en plein hiver et dans une mesure un peu moindre durant presque tout le gros de l'été. Pendant ces périodes chaudes, l'isotherme de zéro degré s'est élevé à maintes reprises à des altitudes inhabituelles. En hiver, il a culminé plusieurs fois au-dessus de 3000 mètres, se situant ainsi à l'alititude moyenne des glaciers et de leur ligne d'équilibre. En été, il s'est longtemps maintenu au-dessus de 4000 mètres, et même souvent au-delà des sommets les plus élevés des Alpes, ce qui a engendré une fonte intense et particulièrement durable de l'ensemble des névés. Des séquences froides, de fréquence et d'intensité très variables, se sont produites durant tous les mois de l'année. La température de l'air s'est révélée fraîche en juin et pendant la première moitié de juillet, tandis qu'une invasion d'air froid a provoqué des chutes de neige jusqu'au-dessous de la limite des arbres au début de septembre. Les influences

sur le bilan de masse des glaciers de la période chaude de mai et de l'épisode froid du début de l'été se sont équilibrées; en effet, la fonte précoce de la neige en haute montagne a été freinée par la suite, et l'ablation qui en était résultée a été complètement compensée par les chutes de neige subséquentes. Le déficit du bilan annuel a été causé presque exclusivement par la fusion estivale extrêmement active de la masse glaciaire qui s'est poursuivie presque sans interruption de mi-juillet à fin août. L'influence des oscillations de température n'a guère modifié le résultat final du bilan, la couche de neige tombée au début du mois de septembre ayant presque entièrement disparu par la suite. La majorité des moyennes thermiques mensuelles des stations climatologiques s'écarte plus ou moins fortement de la valeur moyenne pluri-annuelle. Elles lui sont inférieures en décembre presque partout sauf en montagne, en janvier en plaine et dans les vallées des Alpes seulement, en raison de l'accumulation de l'air froid par gravité, et en juin sur la Suisse occidentale et le sud du Tessin. Les excédents de chaleur les plus marqués nous sont signalés en janvier dans les régions de montagne (écarts allant jusqu'a 4.5°C janvier le plus chaud au Saentis depuis 1901), et en août sur le nord et l'est du pays (écarts jusqu'à 5.1°C; août le plus chaud depuis le début des mesures météorologiques à Zurich en 1864 et à Bâle en 1808).

Comme en témoigne le graphique des précipitations du Saentis, les lames d'eau annuelles de la plupart des stations pluviométriques des Préalpes septentrionales et du Plateau sont légèrement inférieures aux valeurs moyennes pluri-annuelle. Quant aux lames mensuelles, elles se répartissent de manière très diverse et souvent opposee selon les régions. Septembre est abondamment arrosé en Suisse romande et sur le versant sud des Alpes. Cet excès d'humidité persiste en octobre dans l'ouest et s'étend au nord des Alpes en novembre. Le déficit pluviométrique apparu dans l'est en octobre se poursuit en novembre, tout en gagnant le sud du pays. Après une premiere quinzaine sèche, le mois de décembre apporte des pluies généreuses sur le nord de la Suisse et très fortes sur les Alpes, tout en épargnant leur versant méridional. Le début de 1992 se signale par un régime pluviométrique opposé entre les deux côtés de la chaîne alpine: sec au nord et pluvieux au sud en janvier, le contraire le mois suivant. En mars, il pleut abondamment, tout d'abord sur la partie orientale du massif alpin, puis sur le sud des Alpes qui reçoit, après 38 jours de sécheresse, une lame d'eau équivalant à la moyenne mensuelle pendant les quelques jours de la fin du mois. En avril, les pluies sont assez rares sur les Alpes en général, et partout sur le sud du pays. Mai se signale surtout par son déficit pluviométrique marqué sur la Suisse alémanique. En revanche, il pleut abondamment en juin dans l'ouest et le sud de la Suisse, ainsi qu'en juillet sur le bassin du Léman et en Valais. La sécheresse affecte presque toutes les régions du pays en août, à l'exception des Alpes centrales et orientaies, qui bénéficient d'une lame d'eau normale grâce à de violents orages, souvent associés à de la grêle. A l'instar de l'année précédente, septembre présente un gradient pluviométrique marqué entre le surplus du sud et le déficit du nord du pays. Ce régime pluviométrique très changeant confère donc à l'évolution du bilan de masse des glaciers un aspect équilibré pendant toute la phase d'accroissement et la première moitié de la période d'ablation. Selon les calculs de bilan journalier, les variations les plus amples autour de la valeur moyenne pluri-annuelle sont le déficit du début de décembre, par l'excédent consécutif aux abondantes chutes de neige ultérieures. Quant à la perte de masse engendrée par la sécheresse de l'été, elle n'a diminué que temporairement à la suite des chutes de neige du début de septembre.

Conditions climatiques

Le déroulement des conditions climatiques de cette année est représenté à la figure 1.3. Le cumul des lames d'eau d'octobre 1991 à septembre 1992 donne des sommes proches de la valeur moyenne pluri-annuelle en règle générale, souvent par excès sur les Alpes septentrionales et orientales, et par défaut sur les autres régions. Quelques stations ont recu des précipitations abondantes: dans l'ouest des Alpes bernoises (Gsteig, Kiental, Ried), dans la vallée supérieure de la Reuss (Göscheneralp), dans les Alpes grisonnes (Vals, Klosters, Martina) et au Tessin (Brusio). Les pluies ont affecté plus rarement les contrées alpines et préalpines de la Suisse centrale (Haslital, Engelberg, canton de Schwyz), la région de Sargans et quelques stations isolées du Plateau. Quant aux rives du lac de Constance, elles se signalent par leur grande sécheresse.

Malgré un début d'été plutôt frais, la température s'est révélée nettement supérieure à la valeur moyenne pluri-annuelle sur l'ensemble du pays de mai à septembre 1992. Même Zermatt, dont l'excédent thermique est le plus faible de toutes les stations considérées, a joui d'une chaleur estivale bien marquée. Très élevée sur une région s'étendant du pays de Vaud à l'ouest du Tessin, ainsi que sur la vallée de Poschiavo, elle a été inhabituelle sur les rives du Léman, le Bas-Valais et le nord du Jura, ainsi que sur une bande étroite s'étirant, par le centre de la Suisse, du lac de Neuchâtel aux Alpes bernoises et grisonnes. Elle peut être qualifiée d'extraordinaire sur le reste du pays, comprenant le lac de Bienne, le Plateau suisse alémanique, le nord-est du pays, le Prattigau et la Haute-Engadine, où ce fut l'un des étés les plus chauds de ce siècle.

1.3 CONDITIONS CLIMATIQUES 1992/93

Les conditions météorologiques de cette année hydrologique se distinguent, en tout premier lieu, par des lames d'eau considérables, contrastant nettement avec la moyenne pluri-annuelle de la pluviosité de l'exercice précédent et celles, très déficitaires, des années antérieures. Les surplus pluviométriques se révèlent très importants dans la majorité des stations, voire extraordinaires en maints endroits. Quant aux températures, elles se situent beaucoup plus souvent au-dessus des valeurs moyennes saisonnières qu'au-dessous, comme c'est d'ailleurs le cas depuis une bonne décennie. Toutefois, les excédents thermiques sont sensiblement plus modestes que ceux de l'exercice 1991/92, chaud à l'extrême, en raison de chaleurs estivales moins fortes et plus brèves. Après un début froid et très humide, l'hiver s'est distingué par des périodes très douces et sèches. Les séquences de temps frais et pluvieux ou chaud et sec ont souvent alterné au printemps et en été, et l'automne, presque partout frais et très humide, s'est terminé prématurément par de précoces chutes de neige.

Conditions météorologiques

Le déroulement des conditions météorologiques de septembre 1992 à octobre 1993 est représenté à la figure 1.2. Les conditions météorologiques de cette année hydrologique, au temps changeant, mais chaud et très humide en général, sont brièvement, mais clairement, caractérisées par les titres des bulletins météorologiques mensuels de l'Institut suisse de météorologie [ISM, 1991-93d], que voici:

1992	*Octobre:*	*défilé de dépressions sur l'Europe centrale.*
	Novembre:	*temps pluvieux.*
	Décembre:	*un anticyclone succède à la dépression.*
1993	*Janvier:*	*le froid hivernal recule devant un printemps précoce.*
	Février:	*offensive hivernale juste avant le début du printemps.*
	Mars:	*ballet entre l'hiver et le printemps.*
	Avril:	*capricieux, mais chaud.*
	Mai:	*très chaud et sec en général, malgré de nombreux orages.*
	Juin:	*c'est l'été, mais pendant la première décade seulement.*
	Juillet:	*records de pluie et brusques variations de température.*
	Août:	*à la fin du mois, la fraîcheur de l'automne succède au soleil et à la canicule de l'été.*
	Septembre:	*temps maussade et très pluvieux dans l'ouest et le sud.*

Ces brefs résumés reflètent correctement les contrastes météorologiques que le pays a temporairement subis sur ses différentes régions. C'est ainsi que le sud et l'ouest ont souvent connu un temps beaucoup trop humide, en avril et en septembre surtout, alors que la sécheresse affectait le nord et l'est. En revanche, de violents orages, en juillet, ont apporté aux contrées orientales de la Suisse les lames d'eau les plus importantes de ce mois depuis cent ans, tandis que l'ouest et le sud étaient assez peu arrosés.

Pour l'exercice 1992/93, le bilan de masse des glaciers de la région d'Aletsch se caractérise par les particularités suivantes, déduites du calcul des bilans hydrologiques journaliers du bassin de réception de la Massa. La période d'accroissement, débutant le 26 septembre 1992 et se terminant le 20 mai 1993, avec chaque fois dix jours d'avance sur la norme, présente une durée de 293 jours, correspondant à la moyenne pluri-annuelle. Jusqu'au milieu de décembre, de précoces chutes de neige ont apporté un excédent inaccoutumé, que la sécheresse du gros de l'hiver a ramené à des valeurs normales à la fin de mars. Dès le début d'avril, le manteau neigeux hivernal s'est étoffé à nouveau et a gardé jusqu'en plein été une épaisseur nettement supérieure à la valeur moyenne pluri-annuelle.

Du 21 mai au 12 septembre 1993, la période de fusion a duré 114 jours, soit presque deux semaines de moins qu'à l'accoutumée, et s'est terminée trois semaines avant la date habituelle. Après un début précoce et avec quelques interruptions temporaires en juin et juillet, la fonte de la neige s'est déroulée assez normalement jusqu'à la canicule d'août. Pendant la première moitié de ce mois, les importants vestiges du manteau neigeux de l'hiver précédent se sont réduits à des proportions normales que la chaleur de la seconde quinzaine de ce mois a tôt fait disparaître plus ou moins complètement. Pluviosité et ruissellement se sont plus ou moins équilibrés au début de septembre, tandis que les fortes précipitations des quinze derniers jours de ce mois sont tombées partiellement sous forme solide, contribuant à l'édification des premières réserves nivales de l'exercice 1993/94.

Le cycle hydrologique annuel considéré (du 26 septembre 1992 au 12 septembre 1993) a donc duré deux semaines de moins que la moyenne pluri-annuelle; en outre, son début et son terme sont nettement décalés par rapport aux dates habituelles.

Conditions climatiques

La figure 1.4 montre la distribution spatiale des paramètres climatologiques. Le cumul des lames d'eau d'octobre 1992 à septembre 1993 donne des sommes très variables d'une station à l'autre, oscillant entre des valeurs faibles à extrêmement fortes (fig. 1.4a). Au contraire de l'exercice précédent, assez normal, elles présentent une distribution très complexe. Le Tessin méridional mis à part, seule la région d'Arosa est trop sèche, tandis que la pluviosité est normale sur une zone alpine s'étendant du nord des Grisons à l'Engadine et au Tessin, ainsi que sur les vallées à foehn de la Reuss et du Hasli. Quant aux précipitations extraordinaires à extrêmes, elles ont affecté de vastes étendues, réparties de la Suisse occidentale aux sources du Rhin, et des régions beaucoup plus réduites, telles que les massifs de la Silvretta et du Saentis, ou des contrées en bordure ou hors des Alpes.

La distribution des écarts des températures moyennes de l'air de mai à septembre 1993, étalée entre des valeurs normales à très élevées, donne une image nettement plus simple que celle de la pluviosité annuelle (fig. 1.4b). Les températures estivales sont restées dans la valeur moyenne pluri-annuelle sur le Valais méridional et sur une étroite bande s'étendant de la Suisse romande au nord du Tessin, à travers la plage de forte pluviosité. Partout ailleurs dans les Alpes, l'excédent thermique est notable, de même que dans les régions marginales de l'ouest et du nord au contact des zones très chaudes du bassin lémanique et du nord de la Suisse.

Tabelle 1.1: **Lufttemperatur 1992 - Gradtagsummen Mai-Oktober**

a) Absolute Werte

Station	Höhe [m ü.M.]	Gradtagsumme [°C] Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Mai-Sept.
Meteorologische Stationen: [1]								
Gütsch	2287	116	133	277	338	161	29	1025
Säntis	2490	91	108	215	281	135	22	830
Weissfluhjoch	2690	53	79	204	275	115	7	727
Jungfraujoch	3580	3	0	55	68	4	0	130
Aerologische Stationen: [2]								
Payerne (700 mb)	3100	23	28	117	151	49	3	368
München (700 mb)	3100	9	33	95	147	44	7	328
Mailand (700 mb)	3100	22	24	135	192	65	2	438
Firngebiete: [3]								
Clariden [3a]	2700	52	64	193	254	93	0	656
Clariden [3a]	2900	30	38	155	214	63	0	500
Silvretta [3b]	2750	46	70	192	262	106	4	676
Jungfraufirn [3c]	3350	8	3	82	103	15	0	211

b) Relative Werte [4]

Station	Höhe [m ü.M.]	Gradtagsumme [%] Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Mai-Sept.
Meteorologische Stationen:								
Gütsch	2287	190	92	116	143	96	32	121
Säntis	2490	202	107	127	163	111	31	135
Weissfluhjoch	2690	172	88	123	163	101	12	128
Jungfraujoch	3580		4	183	246	38		168
Aerologische Stationen:								
Payerne (700 mb)	3100	298	77	136	176	89	21	134
München (700 mb)	3100	103	109	137	199	93	53	143
Mailand (700 mb)	3100	207	47	116	166	92	11	120
Firngebiete:								
Clariden	2700	243	74	121	159	91		124
Clariden	2900	285	68	123	172	85		129
Silvretta	2750	180	86	127	169	102	8	130
Jungfraufirn	3350	353	18	153	208	57		142

1 Temperaturmessungen der SMA. Summen der positiven Gradtage berechnet aufgrund der Monatstabellen, die für die Station Säntis ausführlich, für die andern Stationen auszugsweise publiziert sind [SMA, 1992a].

2 Temperaturmessungen in der freien Atmosphäre (Radiosondierungen der Landeswetterdienste). Summenwerte im Niveau 700 Millibar (etwa 3100 m ü.M.), als Mittelwert aus den Ergebnissen der Sondenaufstiege um 0 und 12 Uhr Weltzeit berechnet durch G. Kappenberger, SMA.

3 Schätzwerte für Firnpegel auf Gletschern, berechnet aus den Tagesmittelwerten der Station a) Gütsch, b) Weissfluhjoch, c) Jungfraujoch.

4 Prozentwerte, bezogen auf die Durchschnittswerte der Periode 1959-1993 (Durchschnittswert = 100 %).

Tableau 1.2: ***Température de l'air 1993 - Sommes des degrés-jour mai-octobre***

a) Valeurs absolues

Station	*Altitude*	*Somme des degrés-jours [°C]*						
	[m s.m.]	*Mai*	*Juin*	*Juil.*	*Août*	*Sept.*	*Oct.*	*Mai-Sept.*
Stations météorologiques: [1]								
Gütsch	2287	99	186	207	275	104	36	871
Saentis	2490	77	131	141	208	81	41	638
Weissfluhjoch	2690	46	110	138	202	64	18	560
Jungfraujoch	3580	0	7	21	32	2	0	62
Stations aérologiques: [2]								
Payerne (700 mb)	3100	15	64	74	107	28	7	288
Munich (700 mb)	3100	11	43	58	79	33	11	224
Milan (700 mb)	3100	19	69	112	149	33	3	382
Névés: [3]								
Clariden [3a]	2700	37	113	133	195	46	3	523
Clariden [3a]	2900	23	81	103	158	27	0	392
Silvretta [3b]	2750	39	99	128	191	57	14	515
Jungfraufirn [3c]	3350	3	24	42	63	5	0	138

b) Valeurs relatives [4]

Station	*Altitude*	*Somme des degrés-jours [%]*						
	[m s.m.]	*Mai*	*Juin*	*Juil.*	*Août*	*Sept.*	*Oct.*	*Mai-Sept.*
Stations météorologiques:								
Gütsch	2287	162	129	87	116	62	40	103
Saentis	2490	171	131	83	121	67	57	104
Weissfluhjoch	2690	148	122	83	120	56	32	98
Jungfraujoch	3580		92	70	115	13		80
Stations aérologiques:								
Payerne (700 mb)	3100	195	177	86	125	51	49	105
Munich (700 mb)	3100	125	142	83	107	70	83	98
Milan (700 mb)	3100	179	135	96	129	47	17	104
Névés:								
Clariden	2700	173	130	83	122	45	8	99
Clariden	2900	216	144	81	127	36		101
Silvretta	2750	155	123	84	123	55	29	99
Jungfraufirn	3350	154	139	78	128	21		92

1 *Observations de l'ISM. Sommes des degrés-jours positifs, déterminées à partir des tableaux mensuels publiés in extenso pour la station du Saentis, en extrait pour les autres stations [SMA, 1993a].*

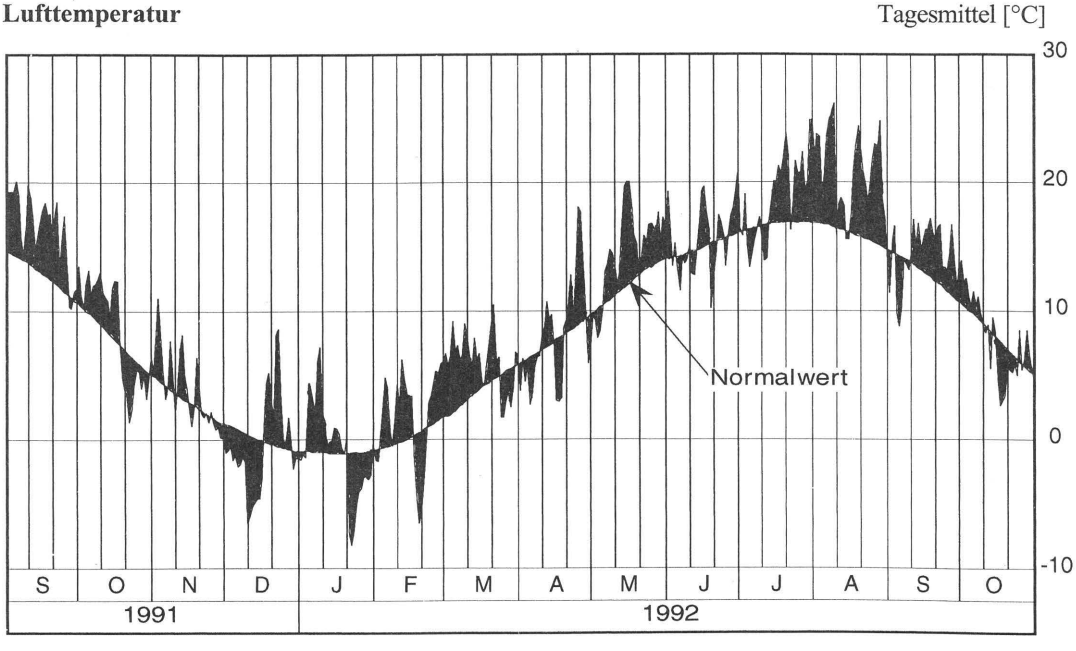
2 *Observations dans l'atmosphère libre (radiosondages des services météorologiques nationaux). Valeurs moyennes déterminées à partir des résultats obtenus au niveau de 700 millibars (environ 3100 m s.m.) lors des sondages de 0 et 12 heures (temps universel), calculées par G. Kappenberger, ISM.*

3 *Valeurs estimées pour balises d'accumulation sur glaciers, calculées à partir des moyennes journalières de la température mesurée à la station de: a) Gütsch, b) Weissfluhjoch, c) Jungfraujoch.*

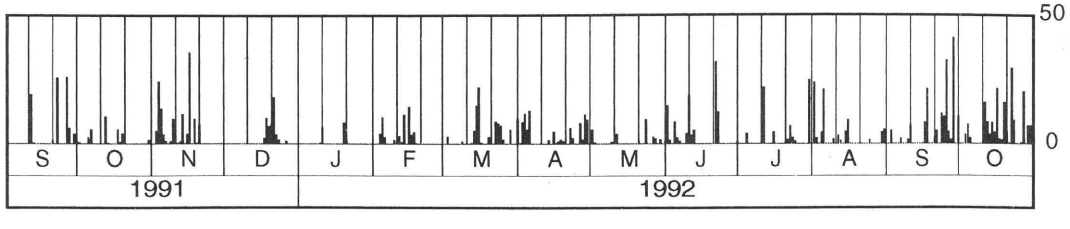
4 *Pourcentages par rapport aux valeurs moyennes de la période 1959-1993 (valeur moyenne = 100 %).*

Abbildung 1.1: **Witterung 1991/92**

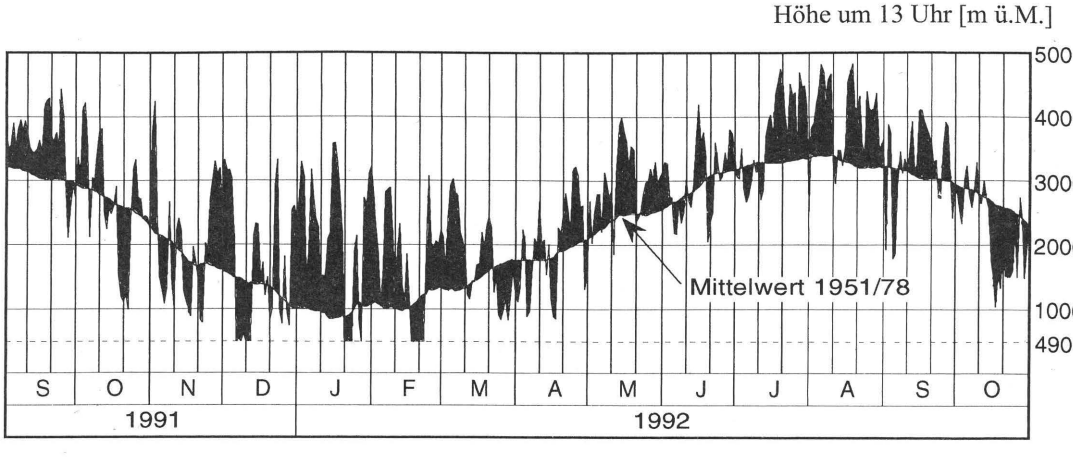
a) Zürich SMA (556 m ü.M.):
Lufttemperatur



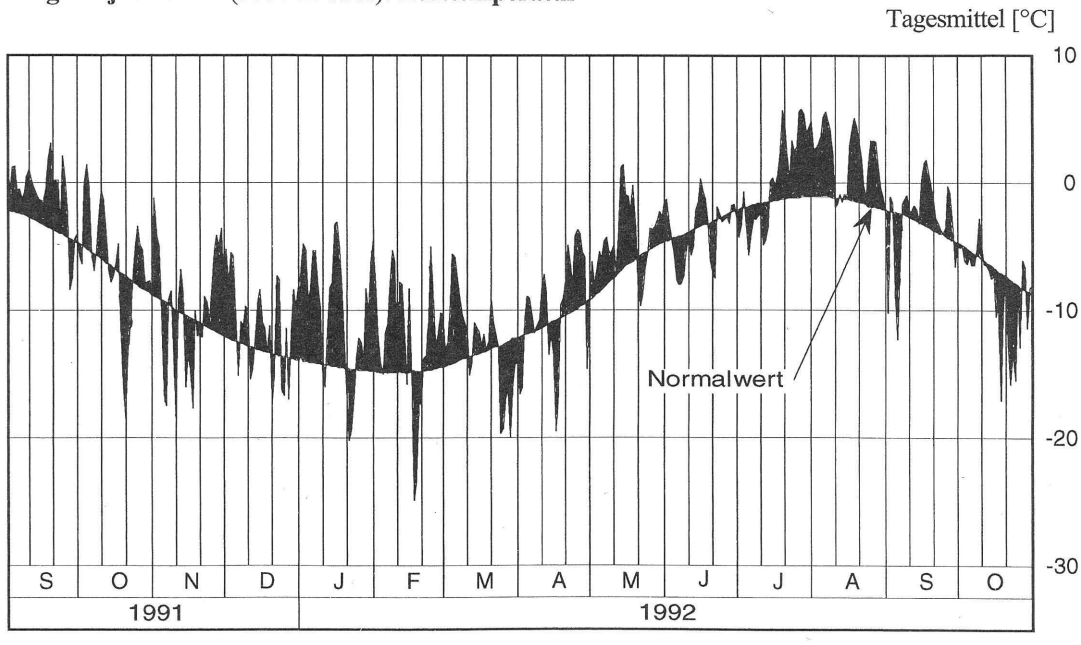
Niederschlag



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



c) Jungfraujoch SMA (3580 m ü.M.)**: Lufttemperatur**



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

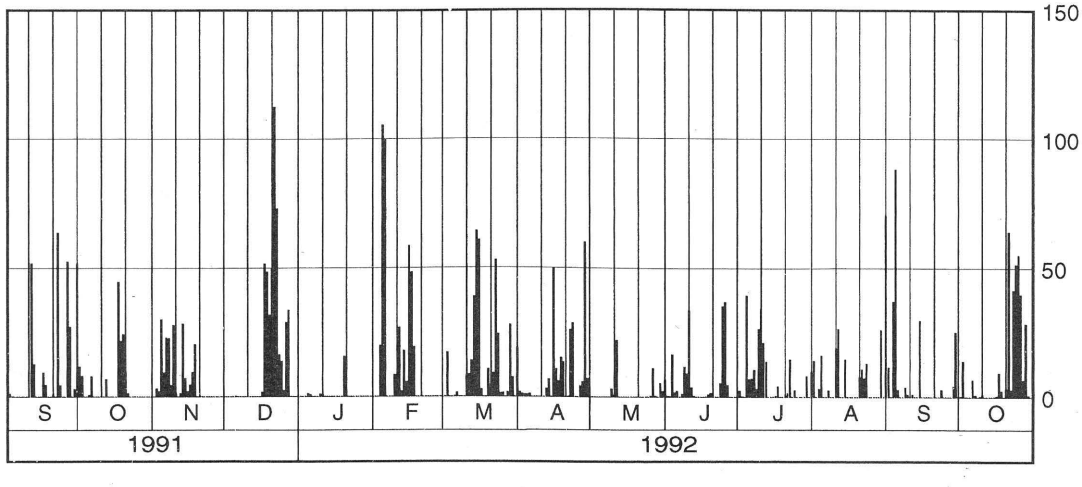
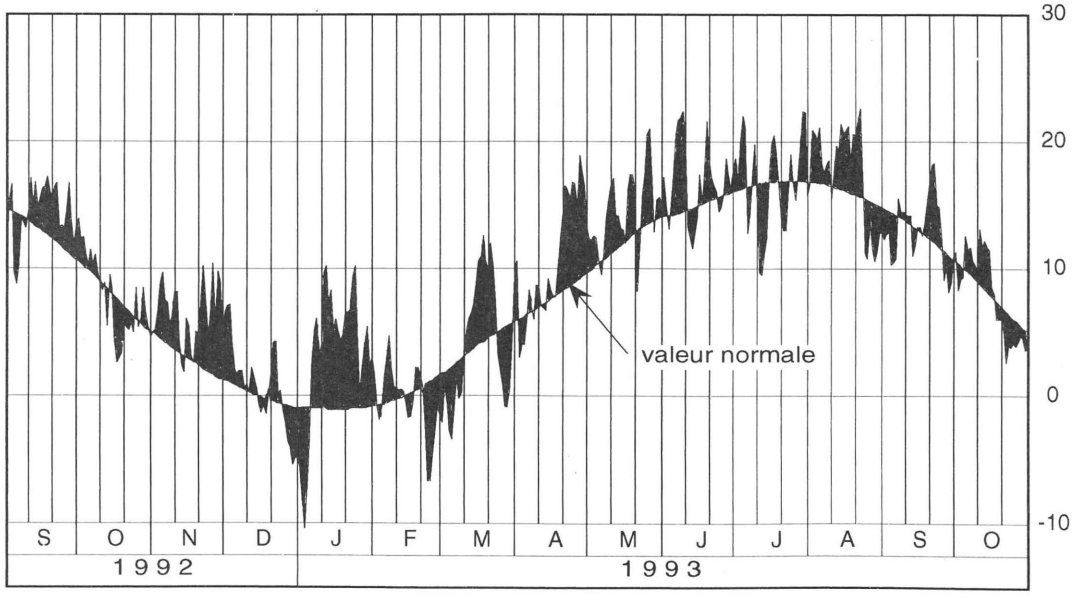


Figure 1.2: ***Conditions météorologiques 1992/93***

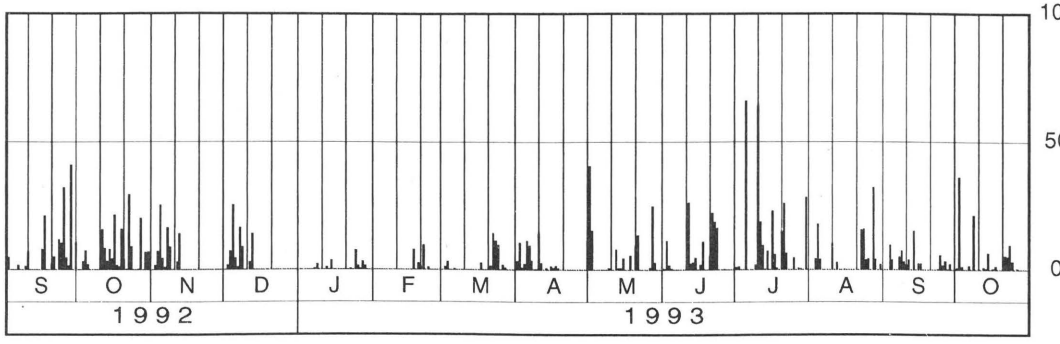
a) Zurich ISM *(556 m s.m.)*:
Température de l'air

Moyenne journalière [°C]



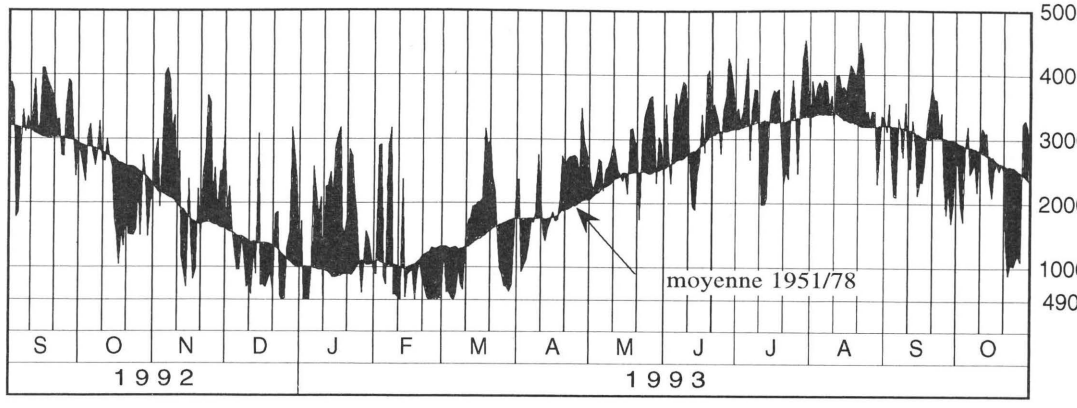
Pluviosité

Somme journalière [mm]



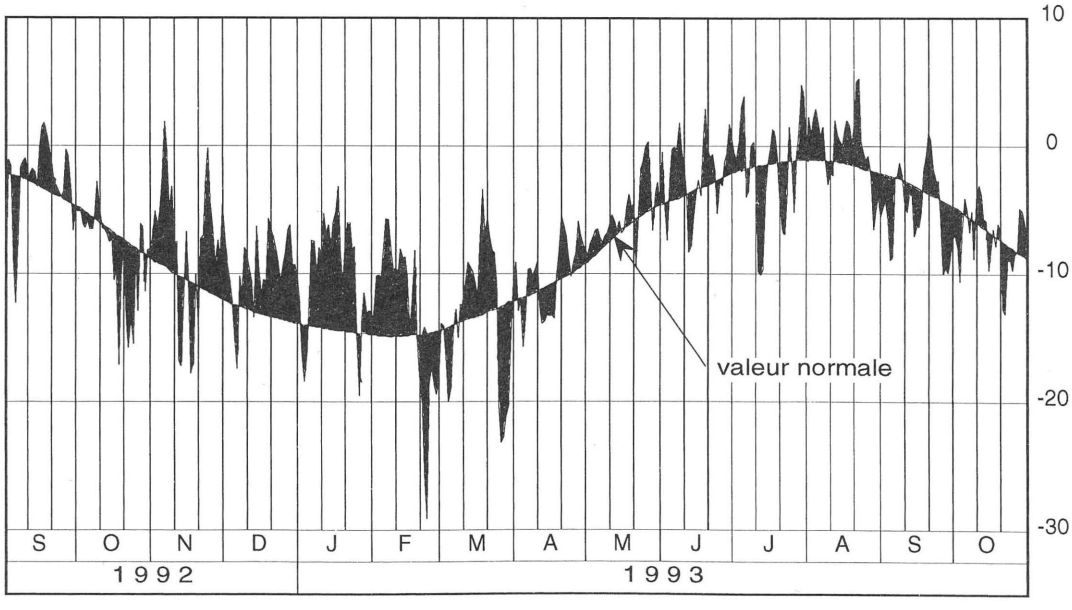
b) Payerne ISM *(490 m s.m.)*: ***Isotherme zéro degré***

Altitude à 13 heures [m s.m.]



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

Moyenne journalière [°C]



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

Somme journalière [mm]

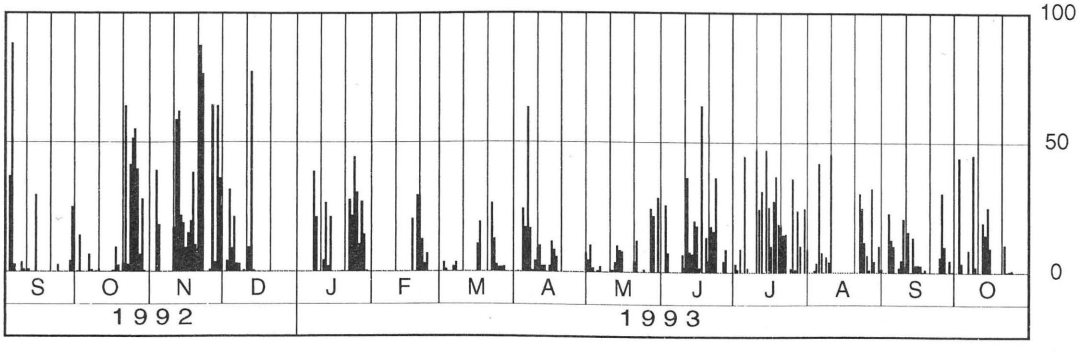
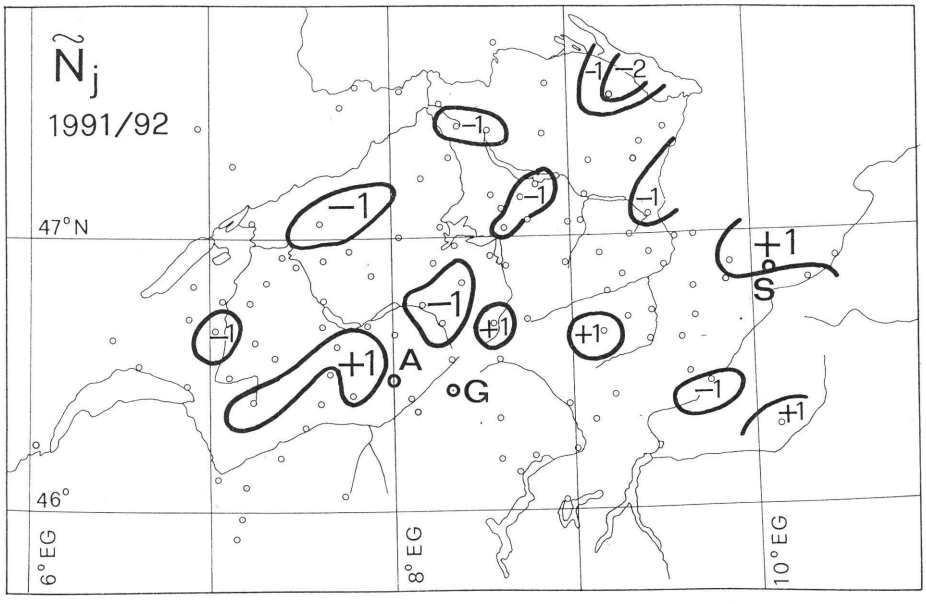


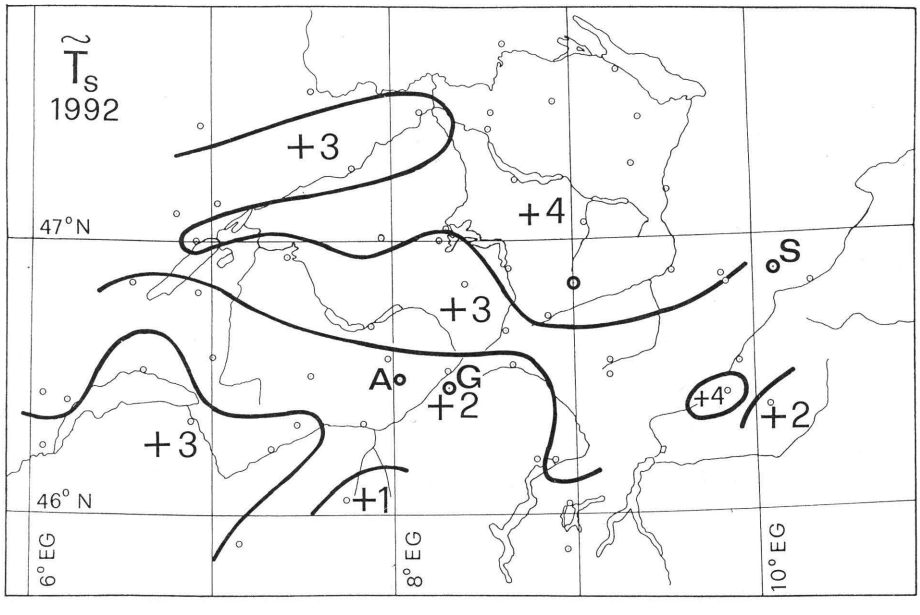
Abbildung 1.3: **Klima 1991/92 - Abweichungen vom Normalwert 1901-1960**

a) Jahresniederschlag 1991/92: Niederschlagsmenge 1.10.1991 - 30.9.1992



Klassierung der Niederschlagsmengen: +1 = gross, 0 = normal, -1 = klein, -2 = sehr klein.

b) Sommertemperatur 1992: Durchschnittliche Lufttemperatur 1.5. - 30.9.1992

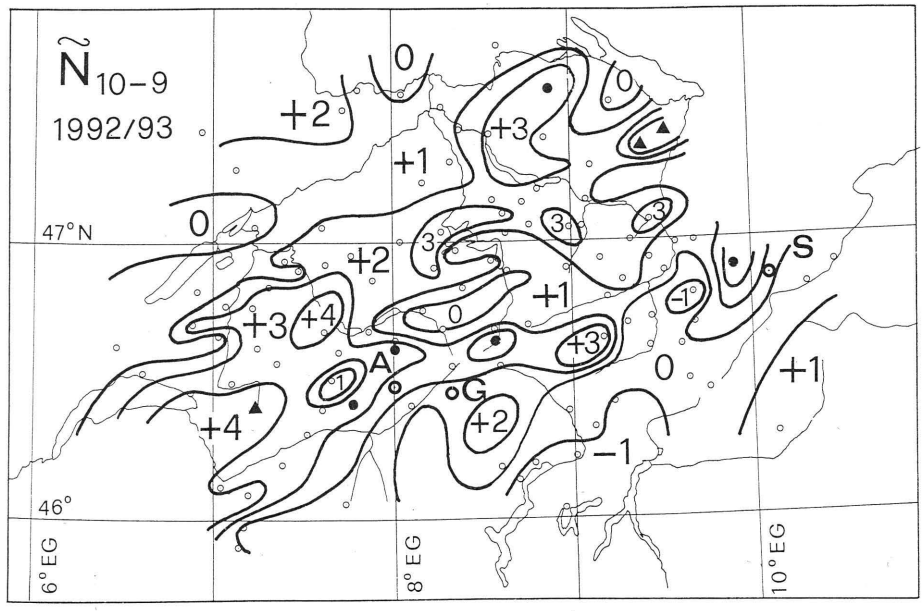


Klassierung der Sommertemperaturen: +4 = ausserordentlich warm, +3 = ungewöhnlich warm, +2 = sehr warm, +1 = warm, 0 = normal.

- ○ Niederschlagsmessstationen (Abb. 1.3a) oder Klimastationen (Abb. 1.3b) der SMA.
- ● Haushaltsgletscher (vgl. Tab. 5.1): A = Aletsch, G = Gries, S = Silvretta.

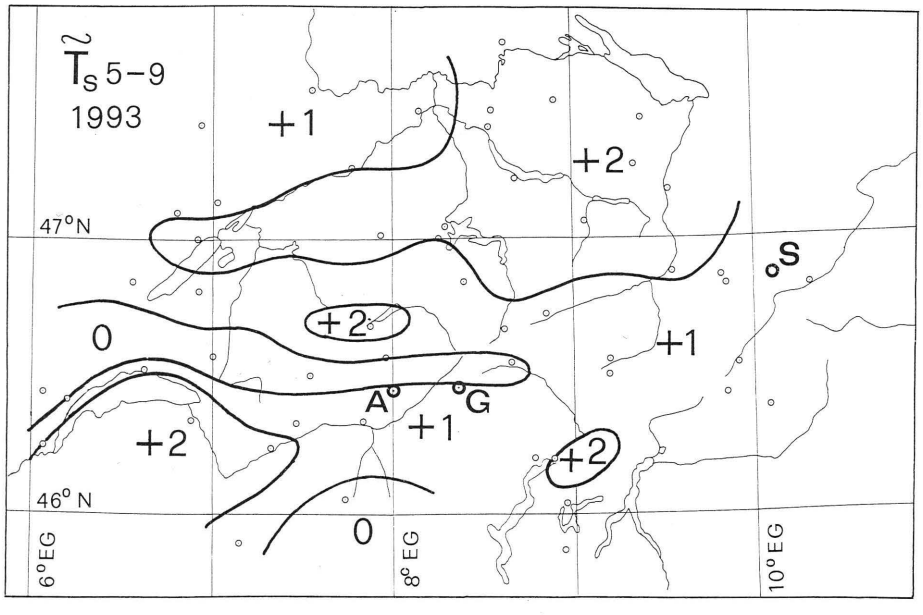
Figure 1.4: ***Conditions climatiques 1992/93 - Ecarts par rapport à la norme 1901-1960***

a) Pluviosité 1992/93: *Somme des précipitations 1.10.1992 - 30.9.1993*



Classification de la pluviosité: *+5 = ▲ extrêmement fortes, +4 = ● extraordinairement fortes, +3 = inhabituellement fortes, +2 = très forte, +1 = forte, 0 = normale, -1 = faible.*

b) Température estivale 1993: *Température moyenne de l'air 1.5. - 30.9.1993*



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

° *Stations pluviométriques (fig. 1.4a) ou climatologiques (fig. 1.4b) de l'ISM.*
o *Glaciers de bilan (cf. tabl. 5.1): A = Aletsch, G = Gries, S = Silvretta.*

2. CHRONIK

2.1 TÄTIGKEIT UND EREIGNISSE 1991/92

Zungenbeobachtungen

Im Herbst 1992 sind 106 Gletscher erfasst worden. Die nachstehende Zusammenstellung gibt an, welche Institutionen und privaten Beobachter im Berichtsjahr wieviele Gletscherzungen beobachtet haben. Die Ergebnisse sind in Kapitel 3 zu finden.

Kantonale Forstdienste	**69**	**Private Mitarbeiter**	**12**
Bern	11	H. Boss Jun.	2
Glarus	1	J.-J.Chabloz	3
Graubünden	16	A. Godenzi	2
Obwalden	2	E. Hodel	1
St. Gallen	2	P. Mercier	1
Tessin	4	U. Steinegger	2
Uri	7	R. Zimmermann	1
Waadt	4		
Wallis	23	**ETH Zürich: VAW-Glaziologie**	**15**
		im Gelände	4
Kraftwerke	**10**	Luftbilder	11
Ägina (KWA)	1		
Mattmark (KWM)	5		
Mauvoisin (FMM)	2		
Oberhasli (KWO)	2		

Vermessungsflüge

Wie in den Vorjahren sind uns bei verschiedenen 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 und beim **Giétro** für die Kraftwerke Mauvoisin durch das Vermessungsbüro H. Leupin in Bern ausgeführt worden. Für die VAW sind die Luftaufnahmen von **Gries** und **Allalin** (im Auftrag der Kraftwerke Ägina bzw. Mattmark) sowie **Findelen** durch die Mitarbeiter H. Bösch, W. Nobs, A. Kääb und W. Schmid am betriebseigenen analytischen Plotter ausgewertet worden. Insgesamt haben das Bundesamt für Landestopographie (L+T) und die Eidgenössische Vermessungsdirektion (V+D) 41 Vermessungsflüge über Gletschern durchgeführt (Tab. 2.1).

Forschungsprojekte

Zusammenfassende Übersichten über die glaziologische Forschungstätigkeit in der Schweiz erscheinen als periodische Mehrjahresberichte im Bulletin "ICE" der "International Glaciological Society". Die nachstehende Darstellung einzelner Forschungsprojekte stützt sich auf den Jahresbericht der VAW [1992].

Im Rahmen der Tätigkeit des **World Glacier Monitoring Service** (**WGMS**) wurden standardisierte Daten über Gletscherveränderungen zwischen 1985 und 1990 erhoben. Diese Daten sind im Band 6 der "Fluctuations of Glaciers" publiziert [IAHS(ICSI)-UNESCO-UNEP, 1993a]. Der Band enthält Daten aus 28 Ländern (inklusive Antarktis) mit Angaben über Längenänderungen von 615 Gletschern und Massenbilanz-Serien von 94 Gletschern. Wie immer wird dem Band auch eine Anzahl von speziellen Gletscherkarten beigelegt, so zum Beispiel eine Orthophotokarte des Nevado del Ruiz in Kolumbien, die im Zusammenhang mit der Beobachtung dieses vergletscherten Vulkanes erstellt wurde [IAHS(ICSI)-UNESCO-UNEP 1993a; Haeberli and Wallén, 1993]. Zusätzlich werden alle zwei Jahre im sog. "Glacier Mass Balance Bulletin" Daten über weltweit gemessene Massenbilanzen zusammengestellt und veröffentlicht. Dabei zeigt sich, dass die durchschnittliche Massenbilanz von 27 ausgewählten Gletschern der Nordhemisphäre im Jahrzehnt 1980-1990 nie positiv war und im Mittel einen Massenverlust von -353 mm Wasserwert/Jahr aufweist [IAHS(ICSI)-UNESCO-UNEP, 1993b].

Bei der Wiederholung des Ostteiles der 1956 erstmals vermessenen **"EGIG-Traverse" in Grönland** im Sommer 1992 wurde von der VAW in Zusammenarbeit mit dem Geodätischen Institut der Technischen Hochschule Braunschweig und dem Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg zwischen der Firnscheide Zentralgrönlands und ihrem ostseitigen Ablationsgebiet neben anderen Messungen auch ein glaziologisches Feldprogramm durchgeführt. Die Route führte entlang der Linie GRIP-Summit - Crête - Jarl-Joset - Cecilia Nunatak. Die von der VAW betreuten Firntemperatur-Messungen in 15 m tiefen Bohrlöchern zeigen bei GRIP-Summit (3250 m ü.M.) einen Wert von -31.6°C und bei Cecila Nunatak (1600 m ü.M.) beträgt dieser -11.4°C. Solche kalten Firngebiete reagieren auf Erwärmungstendenzen in erster Linie mit einem Ansteigen der Firntemperaturen und die erhobenen Werte sind eine wichtige Basis für spätere Wiederholungsmessungen [Laternser, 1994].

In einem Nationalfondprojekt wurde ein Vergleich von gemessenen und modellierten Eistemperaturen im **Jakobshavngletscher in Grönland** gemacht, welcher zum Ziel hatte, einen Beitrag zur Erklärung des schnellen Fliessens des Gletschers zu liefern. In den Jahren 1988 und 1989 wurden Tiefbohrungen bis zu einer maximalen Tiefe von 1630 m (Gesamtdicke des Eises ca. 2500 m) durchgeführt, um den Mechanismus der hohen Geschwindigkeiten (7km pro Jahr an der Kalbungsfront) zu analysieren. Die Ergebnisse der Modellrechnungen stimmen gut mit den Messungen im oberen Profilteil überein [Fabri et al., 1992; Iken et al., 1993; Funk et al., 1994].

In einem Forschungsprojekt der VAW wurden die kinematischen Änderungen an der Oberfläche des Altels Seitengletschers (Berner Oberland) untersucht. In der im Mittel 35 Grad geneigten **NW-Flanke des Altels** befindet sich der Altels Seitengletscher im Schatten einer rund 30 m hohen, gegen Nordosten senkrecht abfallenden Felsrippe. In Zyklen von vier bis fünf Jahren kann man an diesem schmalen und steilen Gletscher gegen Ende des Sommers eine Rutschung beobachten, zuletzt in den Jahren 1985 und 1989. Ein an der VAW installierter analytischer Plotter (KERN DSR 15-18) ermöglichte eine stereographische Auswertung von Luftbildern der Schweizerischen Landestopographie, welche die Altels NW-Flanke in den Jahren 1985 bis 1989 zeigen. Von der Oberfläche des Gletschers wurden verschiedene digitale Geländemodelle erstellt mit einer Auflösung von 10 Metern. Die Auswertungen zeigten aus dem Blickwinkel der Gletschermechanik, dass nach einer Rutschung eine Senke unterhalb einer grossen Spalte am oberen Ende des Gletschers entsteht und diese Senke sich dann in den nächsten Jahren langsam den

Gletscher hinunterbewegt und dabei langsam ausgeglättet wird. Wenn diese Senke am unteren Ende des Gletschers angekommen ist beginnt jeweils die nächste Rutschung [Wagner, 1996].

An der **Nordseite des Gornergletschers (Wallis)** wurde das subglaziale Abflussystem untersucht. Die Geschwindigkeit der Gletscher weist im Jahresverlauf erhebliche Schwankungen auf, die den Einfluss des subglazialen Wasserabflusses auf das Gleiten der Gletscher über ihr Bett widerspiegeln. Mit einem Heisswasserbohrer wurden sieben ca. 200 m tiefe, bis ans Bett reichende Löcher gebohrt. Die Messungen weisen darauf hin, dass das subglaziale Abflusssystem im untersuchten Gebiet sehr durchlässig ist und aus diskreten Gerinnen mit wenig Strömung besteht.

In einem Projekt der VAW wurde der **Einfluss der letzten Eiszeit auf die Hebungsrate** in der Schweiz untersucht. Relativ zum Vorland heben sich die Alpen um etwa 1 mm pro Jahr. Dies ist das Ergebnis wiederholter Präzisionsnivellements, die seit 1865 in der Schweiz durchgeführt werden. Bisher ist die Ursache dieser Vertikalbewegungen nicht eindeutig bekannt. Es besteht jedoch ein breiter Konsens darüber, dass sie als ein Ausdruck der sich immer noch abspielenden Kollisionstektonik der Kontaktzone zwischen der eurasischen und der afrikanischen Lithosphärenplatte aufgefasst werden können. Während der letzten Eiszeit war die Schweiz zum grössten Teil von einem Eispanzer bedeckt, somit stellt sich nun aber auch die Frage ob das Verschwinden dieses Eises nicht einen isostatischen Ausgleichsprozess in Gang gesetzt haben könnte. Modellrechnungen zeigen jetzt eindeutig, dass der Einfluss der letzten Eiszeit auf die Hebungsrate in der Schweiz möglicherweise sehr gross ist [Gudmundsson, 1994].

In einem Projekt der VAW und der Universität Oslo wurden **geoelektrische Tiefensondierungen** im kontinuierlichen Permafrost von **Svalbard (Arktis)** durchgeführt. Es wurden ausgewählte periglaziale Standorte, insbesondere Blockgletscher und Moränen, untersucht. Das Ziel ist ein Vergleich der periglazialen Verhältnisse zwischen der Arktis und den Alpen. Zudem wurde versucht, einen möglichen Bohrstandort auf einem Blockgletscher zu evaluieren. Die Messungen zeigen, dass die spezifischen Widerstände unterhalb einer dünnen Auftauschicht ansteigen, was typisch ist für Permafrost. In der Auftauschicht sind die spezifischen Widerstände aufgrund von nassen und vegetationsbedeckten Oberflächen generell tiefer als in alpinen Gebieten [Hoelzle, 1993].

Auf dem eishaltigen, dauernd gefrorenen Terrain des **Blockgletschers Murtèl-Corvatsch** wurden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETHZ gravimetrische Messungen durchgeführt. Es waren die ersten Messungen dieser Art auf alpinem Permafrost. Mit Hilfe der geophysikalischen Untersuchungen im Bohrloch auf dem Blockgletscher konnten vier Schichten unterschiedlicher Dichte modelliert werden. Es zeigte sich, dass die Schichten mit einem sehr hohen Eisgehalt von über 90 Volumenprozenten sich linsenförmig über den ganzen Blockgletscher ausdehnen. Ihre gesamte Mächtigkeit ist bei der Bohrstelle mit 17 m am grössten. Zur Seite hin nimmt sie fast symmetrisch ab. Die Felsoberfläche weist eine schüsselartige Übertiefung auf [Klingelé und Vonder Mühll, 1993; Vonder Mühll, 1993].

Gletscherbewegung 1991/92

An den meisten Orten, wo die Fliessgeschwindigkeit an der Gletscheroberfläche durch Messungen an den Pegelstangen im Gelände oder durch Luftbildvermessung am Stereoautographen ermittelt wird, hat sich die Bewegung des Eises im Berichtsjahr weiter verlangsamt, die minimalen Geschwindigkeiten des Vorjahrs sind erneut unterschritten worden. Da die Gletscherbewegung in hohem Masse abhängig ist von der Eisdicke, ist ihre Verzögerung grossenteils als normale Folge des allgemeinen Dickenschwundes zu betrachten. Sehr deutlich erscheint dieser Zusammenhang in den Ergebnissen der Bewegungsmessungen an den Pegelstangen im Zungengebiet des **Allalin-** und des **Giétrogletschers**. An beiden Orten haben sich Geschwindigkeit und Dicke seit 1967 im gleichen Sinn und in ähnlichem Masse verändert, auf dem Allalin jeweils ein Jahr früher als auf dem Giétro. Die Messstelle auf dem Allalin befindet sich im hinteren Zungenbereich. Auf dem Giétro traten die Geschwindigkeitsschwankungen im ganzen Zungenbereich gleichzeitig auf. Die Geschwindigkeiten waren im Berichtsjahr rund 10 % langsamer als im Vorjahr, etwa 15-20 % langsamer als im Anfangsjahr 1967/68 und nicht einmal halb so schnell wie die Höchstgeschwindigkeiten im Jahr 1980/81 bzw. 1981/82.

Ein weiteres gemeinsames Merkmal in der Bewegung dieser beiden Gletscher ist die für steile Gletscherzungen typische, durch verstärktes Gleiten erzeugte Beschleunigung im Spätsommer, die beim Allalin - im Gegensatz zum Giétro - verschiedentlich zu augenfälligen, von Eisabrüchen am Zungenrand begleiteten Rutschungen geführt hat, wie sie in früheren Berichten beschrieben und in Bildern dargestellt sind. Auf dem Mattmarkdamm ist eine automatische Kamera aufgestellt, um solche Rutschungen durch tägliche Bildaufnahmen zu erfassen. Auf den Aufnahmen vom 11. und 30.9.1992 sind kleine Eisabrüche zu erkennen, die für das Berichtsjahr eine gemässigte, als Rutschung wenig ausgeprägte Beschleunigung anzeigen. Am Giétro wird die Bewegung jeweils von der Sommermitte bis in den Spätherbst mittels einer registrierenden Messanlage (Kryokinegraph) als Weg-Zeit-Diagramm aufgezeichnet. Daraus ist ersichtlich, dass die Geschwindigkeit im Spätsommer regelmässig etwa 20-40 % über dem am Pegelnetz bestimmten Jahresdurchschnitt liegt und somit von Jahr zu Jahr ähnliche Schwankungen aufweist wie dieser. Im Sommer 1992 blieben die registrierten Geschwindigkeitswerte stets unter 15 cm/Tag, entsprechend dem minimalen Jahresmittel von 11 cm/Tag (knapp 40 m/Jahr) beim nächstgelegenen Pegel. Die höchsten Tageswerte hatten im Sommer 1982 gut 30 cm/Tag erreicht, der höchste Durchschnittswert im Jahr 1981/82 betrug 25 cm/Tag (94 m/Jahr).

Bei den **Aaregletschern** hat die Fliessgeschwindigkeit in den letzten zwei Jahren ebenfalls nachgelassen, im Mittel um 2 % im ersten, um 4 % im zweiten Jahr, jedoch sehr unterschiedlich in den verschiedenen Messprofilen. In den hintersten und in den vordersten Profilen hat sich die Bewegung fortwährend verzögert, in den mittleren vorübergehend beschleunigt. Von 1990 auf 1991 nahm sie in der Umgebung des Abschwungs, wo Finsteraar- und Lauteraar- sich zum Unteraargletscher vereinigen, um rund 5-20 % zu, im folgenden Jahr ebensoviel wieder ab. Von 1991 auf 1992 beschleunigte sie sich im talwärts anschliessenden Teil des Unteraars, am meisten in der Umgebung des Pavillon Dollfus (bis 25 %). Ob die Beschleunigung sich in gleicher Weise weiter fortpflanzt bis ans Zungenende und es allenfalls sogar zum Vorstossen veranlasst, wird sich in wenigen Jahren weisen.

2.2 TÄTIGKEIT UND EREIGNISSE 1992/93

Zungenbeobachtungen

Im Herbst des Berichtsjahres sind 79 Gletscherzungen erfasst worden. Die nachstehende Zusammenstellung gibt an, welche Institutionen und privaten Beobachter im Berichtsjahr wieviele Gletscherzungen beobachtet haben. Die Ergebnisse sind in Kapitel 3 zu finden.

Kantonale Forstdienste	**52**
Bern	11
Graubünden	13
Obwalden	2
Tessin	6
Waadt	2
Wallis	18
Kraftwerke	**7**
Ägina (KWA)	1
Mattmark (KWM)	2
Mauvoisin (FMM)	2
Oberhasli (KWO)	2
Private Mitarbeiter	**9**
H. Boss Jun.	2
J.-J. Chabloz	3
A. Godenzi	2
E. Hodel	1
P. Mercier	1
ETH Zürich: VAW-Glaziologie	**11**
im Gelände	2
Luftbilder	9

Vermessungsflüge

Bei verschiedenen Gletschern sind uns die Ergebnisse der luftphotogrammetrischen Aufnahmen zur Verfügung gestellt worden. Wie bisher sind die **Aaregletscher** für die Kraftwerke Oberhasli durch das Vermessungsbüro A. Flotron in Meiringen und der **Giétrogletscher** für die Kraftwerke Mauvoisin durch das Vermessungsbüro H. Leupin in Bern ausgewertet worden. Für die VAW sind die Luftaufnahmen von **Gries** und **Allalin** (im Auftrag der Kraftwerke Ägina bzw. Mattmark) sowie **Aletsch, Findelen** und **Silvretta** durch die Mitarbeiter H. Bösch und W. Nobs am betriebseigenen analytischen Plotter ausgewertet worden. Das Bundesamt für Landestopographie (L+T) und die Eidgenössische Vermessungsdirektion (V+D) haben 39 Vermessungsflüge über Gletschern durchgeführt (Tab. 2.1).

Forschungsprojekte

Zusammenfassende Übersichten über die glaziologische Forschungstätigkeit in der Schweiz erscheinen als periodische Mehrjahresberichte im Bulletin "ICE" der "International Glaciological Society". Die nachstehende Darstellung einzelner Forschungsprojekte stützt sich auf den Jahresbericht der VAW [1993].

Im Rahmen einer Studie des Nationalen Forschungsprogrammes 31 des Schweizerischen Nationalfonds wurde ein Verfahren zur Bestimmung von Oberflächenbewegungen von Eis und Permafrost aus Luftbildern weiterentwickelt und angewandt auf verschiedene Objekte. So wurden zum Beispiel am **Grubengletscher** Veränderungen der Eisgeometrie und des Fliessfeldes aufgrund von jährlich und speziell tief geflogenen Luftbildern photogrammetrisch analysiert, um die mittelfristige Entwicklung von ausbruchgefährdeten Gletscher-Randseen zu modellieren [Kääb, 1996].

In Ergänzung zu Bohrlochmessungen aus dem Jahre 1992 auf dem **Gornergletscher** wurden auch dieses Jahr in drei Bohrlöchern im Zentrum der Übertiefung Elektrodenmessungen und Schwingungsversuche durchgeführt. Die Elekrodenmessungen zeigten, dass auf der Nordseite des Gletschers reines Eis auf einem "sauberen" Felsbett liegt. In der Übertiefung in der Gletschermitte konnten hingegen starke Schmutzschichten im basalen Eis festgestellt werden, was auf grössere Sedimentschichten über dem Felsbett schliessen lässt. Bei den Schwingungsversuchen wird der Wasserspiegel im Bohrloch aus seiner natürlichen Lage ausgelenkt, z.B. durch Herausziehen einer eingetauchten Stange oder durch Hineinschütten von Wasser. Aus der Art der Angleichung des Wasserspiegels an die Ausgangslage ergeben sich Hinweise auf die Abflussbedingungen am Gletscherbett. Auch hier zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen der Nordseite und der Mitte des Gletschers: An der Nordseite setzt eine schwach gedämpfte Schwingung ein; in der Gletschermitte ist die Dämpfung bedeutend stärker. Die Unterschiede können auch hier durch das Vorhandensein oder Fehlen von Sedimentschichten erklärt werden [Iken et al., 1996].

Die Sattelvergletscherung des **Colle Gnifetti (Monte Rosa)** wurde dreidimensional mit einem Finite-Elementeprogramm modelliert. Aufgrund des numerisch berechneten Fliessfeldes dieser Sattelvergletscherung wurden die Fliesswege einzelner Eispartikel vom Bohrkern zurück an die Oberfläche berechnet. Auf diese Weise konnte die Altersverteilung der beiden 1982 erbohrten Kerne bestimmt werden. Die so berechneten Altersangaben konnten dann teilweise mit den Resultaten aus der analytischen Bohrkernuntersuchung verglichen werden. Die Untersuchungen zeigen, dass in den bettnahen Eisschichten des Colle Gnifetti mit mehr als tausend Jahre altem Eis zu rechnen ist [Wagner, 1996].

In einer analytischen und numerischen Studie wurde das **bettnahe Fliessen von Gletschereis** im Zusammenhang mit der Unversehrtheit des Ötztaler Eismannes untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, dass bei einem gewissen Verhältnis zwischen Amplitude und Wellenlänge der Bettunebenheit in einer Übertiefung eine zirkulierende Strömung einsetzen kann. Das Eis, welches an einer solchen Zirkulation teilnehmen kann, bleibt theoretisch für immer in der Übertiefung. Für den Ötztaler Eismann konnte nun qualitativ abgeschätzt werden, dass an der tiefsten Stelle der Mulde, wo er eingebettet war, die Fliessgeschwindigkeit höchstens 10 % der mittleren Gleitgeschwindigkeit betrug. Wahrscheinlich war sie sogar noch wesentlich kleiner. Somit steht die Tatsache, dass ein sich in einer Grube befindender Körper so lange im Eis liegen konnte, ohne über grössere Distanzen transportiert zu werden, nicht im Widerspruch mit der gängigen Vorstellung über das Fliessen und Gleiten von Gletschern und den rheologischen Eigenschaften von Gletschereis.

In einem Auftrag der Bahnen der Jungfrauregion und dem Nationalen Forschungsprogramm 31 wurde die **Stabilität des Hängegletschers an der Westflanke des Eigers** untersucht. In einer in diesem Jahr durchgeführten Messkampagne wurden Eistemperaturen in 6 Bohrlöchern bis zum Gletscherbett gemessen, zudem wurde mit Radio-Echosondierungen das Gletscherbett bestimmt und die Fliessgeschwindigkeit an der Oberfläche bestimmt. Die Temperaturen in den Bohrlöchern zeigen auffallend kalte Temperaturen an der Basis des Gletschers gerade hinter der Abbruchfront. Dieses Temperaturfeld könnte für die Stabilität dieses Hängegletschers von Bedeutung sein, denn damit wird der Gletscher hinter der Abbruchfront am Felsbett festgehalten. Sollten dort bei einer Klimaänderung die Eistemperaturen bis zum Druckschmelzpunkt ansteigen, so könnte der Hängegletscher instabil werden [Lüthi und Funk, 1997; Funk, 1995].

Die **Gletscherdatenbank des World Glacier Monitoring Service (WGMS)** wurde überarbeitet und weiter ausgebaut. Die Grundstruktur basiert weiterhin auf zwei getrennten Datenbanken. Diese bestehen zum einen aus den im "World Glacier Inventory" zusammengefassten Daten der nationalen Gletscherinventare, zum anderen aus den in den "Fluctuations of Glaciers" publizierten Daten der Gletscherveränderungen. Aus den bisher erschienen sechs Bänden der "Fluctuations of Glaciers" (1959 bis 1990) sind die Daten seit 1970 in die Datenbank übernommen worden. Die früheren Daten sollen in nächster Zukunft in die Datenbank eingegeben werden.

In einem Auftrag der Gemeinde Saas Balen wurden verschiedene geophysikalische Sondierungen an einem Moränendamm bei einem **See am Grubengletscher** durchgeführt, dabei stand vor allem die Untersuchung der Stabilität des Dammes im Vordergrund. Mit Hilfe von refraktionsseismischen und geoelektrischen Messungen konnte festgestellt werden, dass die untersuchte Moränenbastion vorwiegend trocken und normal konsolidiert ist. Aufgelockerter Schutt befindet sich in Oberflächennähe und Hinweise auf Grundwasser sind nur im unmittelbaren Kontakt mit dem Fels auszumachen [Vonder Mühll et al., 1996].

In einem Forschungsprojekt der VAW wurden systematisch **tiefgelegene Permafrostvorkommen** untersucht. An zwei Standorten (Druesberg (Kt. Schwyz) 1800 m ü.M. und Brüeltobel (Kt. Appenzell AI) 1100 m ü.M.) wurden Deitailuntersuchungen mit den geophysikalischen Methoden der Geoelektrik und der Refraktionsseismik durchgeführt. Während das Vorkommen von Permafrost im Brüeltobel durch die kleinwüchsigen Fichten (Hexenwäldli) charakterisiert ist, handelt es sich beim Druesberg um einen Permafroststandort oberhalb der lokalen Waldgrenze. Im Brüeltobel wurden zudem an vier Standorten die Bodentemperaturen bis in 1.5 m Tiefe registriert [Wegmann, 1995].

In einer Studie wurden die **Interaktionen zwischen Schnee und Permafrost** untersucht. An verschiedenen Standorten im Oberengadin wurden Grundlagen erhoben, um die Wahl von Lawinenschutzbaumassnahmen im Permafrost zu verbessern. Im Untersuchungsgebiet Blockgletscher Murtèl-Corvatsch wurden an je zwei Standorten innerhalb und ausserhalb des Permafrostgebietes insgesamt 90□Schneeprofile aufgenommen und analysiert. Gleichzeitig erfasste eine automatisches Datenerfassungssystem im Intervall von 3 Stunden Schnee- und Untergrundtemperaturen. Es konnten signifikant unterschiedliche Temperaturverhältnisse, Kornformverteilungen und Rammwiderstände zwischen Permafrost und permafrostfreien Gebieten festgestellt werden. Zudem wurde der thermische Widerstand der Schneedecke und der bodennahe Wärmefluss durch die Schneedecke berechnet [Keller and Gubler, 1993].

Gletscherbewegung 1992/93

Infolge der ungünstigen Schnee- und Wetterverhältnisse im Herbst 1993 ist die Vermessung der Pegelnetze auf den Gletschern im Mattmarkgebiet und auf dem Glacier de Giétro unterblieben. Die Messungen an den Steinreihen auf dem Glacier de Corbassière und die Registrierung der Fliessbewegung vom Juli bis November an der Zunge des Glacier de Giétro ergaben sehr niedrige Geschwindigkeitswerte, die von den Werten der Vorjahre wenig abweichen.

Die Steinreihen Panossière und Tsessette auf dem **Corbassière** werden seit 1967 vermessen. Die mittlere jährliche Geschwindigkeit hat sich beiderorts bis 1978 ziemlich gleichmässig verlangsamt von anfänglich 45 bzw. 35 m/Jahr auf 35 bzw. 30 m/Jahr, in den beiden folgenden Jahren fast sprunghaft beschleunigt auf 70 bzw. 45 m/Jahr und seither allmählich wieder verlangsamt auf die früheren Minimalwerte. Da sich die Eisdicke wenig verändert hat, ist aufgrund ihres starken Einflusses auf die Gletscherbewegung weiterhin mit langsamen Fliessgeschwindigkeiten zu rechnen. Infolge des nachlassenden Eiszuflusses zum Zungenende ist zu erwarten, dass das Längenwachstum auch bei diesem Gletscher nicht mehr lange andauern wird.

Die registrierende Bewegungsmessanlage (Kryokinegraph) am **Giétro** ist 1968 eingerichtet worden (vgl. Kapitel 4, Bildteil). Die jahreszeitlich registrierten Geschwindigkeiten haben sich von Jahr zu Jahr jeweils in nahezu gleichem Masse verändert wie die an den Pegelstangen ermittelten Jahresgeschwindigkeiten, die in den letzten zehn Jahren ebenfalls von den höchsten auf die niedrigsten Werte der Beobachtungsreihe abgesunken sind (vgl. Kapitel 3).

2. CHRONIQUE

2.1 ACTIVITÉ ET ÉVÉNEMENTS 1991/92

Observation des langues glaciaires

Durant l'automne 1992, 106 glaciers ont été inspectés. La liste suivante indique le nombre de glaciers observés par les diverses institutions et personnes privées ayant participé à l'exercice. Tous les résultats sont réunis dans le chapitre 3.

Services forestiers des cantons	***69***
Berne	*11*
Glaris	*1*
Grisons	*16*
Obwald	*2*
Saint-Gall	*2*
Tessin	*4*
Uri	*7*
Valais	*23*
Vaud	*4*
Forces motrices	***10***
Aegina	*1*
Mattmark	*5*
Mauvoisin	*2*
Oberhasli	*2*

Collaborateurs privés	***12***
H. Boss fils	*1*
J.-J. Chabloz	*3*
J.-L. Blanc	*3*
A. Godenzi	*2*
E. Hodel	*1*
P. Mercier	*4*
U. Steinegger	*2*
R. Zimmermann	*1*
EPF Zurich: VAW-Glaciologie	***19***
sur le terrain	*8*
photos aériennes	*11*

Vols photogrammétriques

*Comme de coutume, nous avons bénéficié des études photogrammétriques réalisées pour différents glaciers. Les glaciers de l'**Aar** ont ainsi été analysés par le bureau A. Flotron de Meiringen sur mandat des Forces motrices de l'Oberhasli. Le glacier de **Giétro** a été étudié par le bureau H. Leupin de Berne à la demande des Forces motrices de Mauvoisin. Quant au VAW (H. Bösch, W. Nobs, A. Kääb et W. Schmid), il s'est occupé de l'interprétation des prises de vues aériennes des glaciers de **Gries** et de l'**Allalin** (dans le cadre des expertises mandatées par les Forces Motrices respectives de l'Aegina et de Mattmark) ainsi que de **Findelen**, le tout à l'aide d'un réstituteur analytique récemment installé. Au total, l'Office fédéral de la topographie (S+T) et la Direction fédérale des mensurations cadastrales (D+M) ont réalisés 41 vols photogrammétriques portant sur les glaciers (tabl. 2.1).*

Projets de recherches

Les rapports pluriannuels publiés périodiquement dans le bulletin 'ICE' de 'l'International Glaciological Society' font le tour d'horizon des projets concernant la recherche glaciologique en Suisse. Les lignes suivantes sont par contre tirées du rapport annuel du VAW [1992].

*Des données standardisées ont été relevées pendant la période 1985-1990 sous l'égide du **World Glacier Monitoring Service (WGMS)**. Il s'agit des variations de longueur de 615 glaciers ainsi que de*

94 séries de bilans de masse. Ces données proviennent de 28 pays (y compris l'Antarctique). Elles sont publiées dans le volume 6 de "Fluctuations of Glaciers" [IAHS(ICSI)-UNESCO-UNEP, 1993a] et sont accompagnées d'un certain nombre de cartes glaciologiques spéciales. On y trouve, par exemple, une carte d'orthophoto du Nevado del Ruiz en Colombie qui a été réalisée dans le cadre de la surveillance de ce volcan englacé. [IAHS(ICSI)-UNESCO-UNEP, 1993a; Haeberli and Wallén, 1993]. Tous les deux ans, le "Glacier mass balance bulletin" publie des données relatives au bilan de masse de glaciers répartis sur l'ensemble de la planète. Entre 1980 et 1990, le bilan de masse moyen des 27 glaciers choisis dans l'hémisphère nord n'a jamais été positif et équivaut, en moyenne, à une perte de 353 mm d'eau par an [IAHS(ICSI)-UNESCO-UNEP, 1993b].

*Avec la collaboration de l'Institut de Géodésie de l'Ecole Polytechnique à Braunschweig et de l'Institut de Physique de l'Environnement de l'Université de Heidelberg, le VAW a répété durant l'été 1992 la partie orientale de l'**"EGIG-TRAVERSE"** (entre la calotte centrale du Groenland et, à l'est, sa région d'ablation). Le tracé suivait la ligne GRIP-Summit - Crête - Jarl-Joset - Cecila Nunatak. L'"EGIG-TRAVERSE" fut réalisée pour la première fois en 1956. Dans le cadre de la partie glaciologique du programme, le VAW a effectué plusieurs forages. Les températures de la glace relevées à 15 m de profondeur indiquaient -31.6°C au GRIP-Summit (3250 m) et -11.4°C au Cecila Nunatak (1600 m). Comme les calottes froides réagissent à une tendance au réchauffement du climat avant tout par une élévation de leur propre température, les valeurs enregistrées lors de cette campagne formeront une base de comparaison importante pour de futures répétitions des mesures [Laternser, 1994].*

Dans le cadre d'un projet du Fonds National, les températures relevées dans la glace du glacier de Jakobshavn au Groenland ont été comparées avec des températures simulées. Le but de cette comparaison était d'obtenir une contribution à l'explication du mouvement rapide de ce glacier (7 km par an au front de vêlage). En 1988 et 1989, des forages profonds (profondeur maximale: 1630 m; épaisseur totale de la glace: 2500 m) ont été réalisés pour analyser ce mécanisme d'écoulement à grande vitesse. Les résultats de la simulation s'accordent bien avec les mesures enregistrées dans la partie supérieure du glacier [Fabri et al., 1992; Iken et al., 1993; Funk et al., 1994].

Les changements de mouvement à la surface du glacier de l'Altels (Oberland Bernois) ont été observés dans le cadre d'un projet de recherche du VAW. Ce glacier est situé sur le flanc NW de l'Altels, un versant incliné en moyenne à 35 degrés. Le glacier est également localisé dans l'ombre portée par une paroi rocheuse de 30 m de haut orientée vers le NE. A la fin de l'été, tous les quatre à cinq ans, on observe régulièrement un glissement dont les derniers ont été recensés en 1985 et 1989. A l'aide d'un réstituteur analytique (KERN DSR 15-18), des photos aériennes de l'Office fédéral de la topographie prises entre 1985 et 1989 ont pu être travaillées. Cette opération a permis de créer plusieurs modèles numériques de terrain, d'une résolution de 10 m, représentant la surface du glacier. Du point de vue de la mécanique des glaciers, l'interprétation montre qu'après un glissement, une dépression se crée juste au-dessous d'une grosse crevasse, au sommet du glacier. Cette dépression se déplace lentement vers le bas en diminuant de plus en plus. Quatre ou cinq ans plus tard, quand elle est arrivée au bas du glacier, le prochain glissement est prêt à se produire à nouveau [Wagner, 1996].

*Le système d'écoulement sous-glaciaire de la partie nord **du glacier du Gorner (Valais)** a été observé. La vitesse du glacier varie fortement au cours de l'année, ce qui reflète l'influence de l'eau sous-gla-*

ciaire sur le mécanisme de glissement du glacier. A l'aide d'une foreuse à eau chaude, sept forages d'environ 200 m de profondeur ont été percés jusqu'à la base du glacier. Les mesures ont montré que le système d'écoulement sous-glaciaire dans le secteur étudié est très perméable et qu'il se compose de branches distinctes à faible débit.

Les mensurations précises répétées depuis 1865 ont permis de constater que, par rapport au Plateau, les Alpes s'élèvent d'environ 1 mm par an. Dans un projet du VAW, on a cherché à déterminer quelle était ***l'influence de la dernière période glaciaire sur ce processus de surrection.*** *La cause exacte de ces mouvements verticaux n'est pas encore entièrement connue. Tout d'abord, il y a consensus sur le fait que la hausse est en relation avec la collision des plaques d'Europe et d'Afrique. Mais, pendant la dernière période glaciaire, la Suisse était recouverte en grande partie par une épaisse couche de glace. La question se pose de savoir si la fonte de cette masse glaciaire ne pourrait pas avoir provoqué un processus de rééquilibrage isostatique. Des simulations montrent clairement que l'influence de la dernière période glaciaire sur l'élévation de la Suisse pourrait avoir été assez importante [Gudmundsson, 1994].*

Dans le cadre d'un projet du VAW et de l'Université d'Oslo, des ***sondages géoélectriques*** *ont été effectués dans le pergélisol continu du* ***Svalbard (Arctique).*** *L'accent a été mis sur l'étude de sites périglaciaires, en particulier des glaciers rocheux et des moraines. Le but était de comparer les conditions périglaciaires de l'Arctique et des Alpes et d'essayer de déterminer un site permettant la réalisation d'un forage dans un glacier rocheux. Au-dessous d'une fine couche active, les valeurs de résistivité apparente mesurées augmentent, ce qui est typique par le pergélisol. La surface du sol étant humide et couverte de végétation, la résistivité spécifique de la couche active est toutefois moins élevée que dans les Alpes [Hoelzle, 1993].*

Dans un projet de l'Institut de Géodésie et de Photogrammétrie de l'EPFZ et du VAW, des mesures gravimétriques ont été effectuées sur le ***glacier rocheux de Murtèl-Corvatsch.*** *Ce sont les premières mesures de ce genre dans le pergélisol alpin. Les mesures géophyisques réalisées à l'intérieur du forage situé sur le glacier rocheux avaient permis d'élaborer un modèle composé de quatre couches de densités différentes. Il s'est avéré, que les couches à très fort contenu en glace (plus de 90 % du volume) s'étendent en forme de lentille sur toute la surface du glacier rocheux. L'épaisseur maximale est de 17 m et se situe précisément au point de forage. Latéralement, on observe une diminution d'épaisseur presque symétrique. Au-dessous du glacier rocheux, la roche en place montre une forme concave [Klingelé et Vonder Mühll, 1993; Vonder Mühll, 1993].*

Mouvement des glaciers

La vitesse d'écoulement est déterminée à la surface des glaciers, soit directement sur le terrain par observation de jalons, soit par interprétation de prises de vue aériennes au moyen du réstituteur analytique. Pendant l'exercice considéré, ce paramètre a encore diminué à la plupart des points de mesure, atteignant des valeurs minimales encore inférieures à celles de l'année précédente. Le mouvement des glaciers étant fortement dépendant de leur épaisseur, cette diminution de vitesse est une conséquence tout à fait normale du l'amincisseront progressif actuellement en cours. Cette relation apparaît très clairement dans les résultats des mesures effectuées aux jalons des langues terminales des ***glaciers de l'Allalin*** *et de* ***Giétro****. Dans ces deux cas, la vitesse et l'épaisseur de la glace se sont modifiées dans un sens et une ampleur identiques, ces variations intervenant sur le glacier de l'Allalin, où le point de mesure se situe à l'arrière de la langue, une année plus tôt que sur celui de Giétro. Sur ce dernier, elles affectent simultanément l'ensemble de la langue terminale. Les vitesses de cette année sont de 10 % inférieures à celles de la précédente, et de 15 à 20 % plus basses que celles déterminées en 1967/68, exercice du début des mesures. Toutefois, elles n'atteignent même pas la moitié des maximums de 1980/81 et de 1981/82.*

Un autre caractère commun de l'écoulement de ces deux glaciers est son accélération observée vers la fin de l'été, due à un glissement renforcé, lié à la forte déclivité de leurs langues terminales. Dans le cas de l'Allalin seulement, cette augmentation de vitesse a provoqué, à plusieurs reprises, des éboulements et des ruptures spectaculaires de la glace en bordure de la langue, phénomènes déja décrits et illustrés par des photographies dans des rapports précédents. Une caméra automatique filme ces événements, à raison d'une prise de vue par jour. Celles des 11 et 30.9.1992 révèlent de petits écroulements de glace caractéristiques de l'accélération assez modérée de cet exercice, guère comparables à un glissement. Au glacier de Giétro, on observe le mouvement de la glace, du milieu de l'été à l'arrière-automne, au moyen d'un dispositif de mesure (cryocinégraphe) enregistrant sa progression en fonction du temps. L'étude de ces diagrammes montre qu'à la fin de l'été, la vitesse atteint des valeurs 20 à 40 % supérieures à la moyenne annuelle déterminée sur l'ensemble du réseau de jalons, et que cette dernière varie d'une année à l'autre avec la même ampleur. La progression enregistrée en été 1992 est restée en-dessous de 15 cm par jour; elle confirme la très faible moyenne de cette même année mesurée au jalon le plus proche: 11 cm/jour (40 m par année, à peine). En été 1982, on avait relevé la valeur journalière la plus élevée, soit 30 cm/jour, et la moyenne annuelle de cet exercice 1981/82 avait atteint le maximum de 25 cm/jour (94 m/année).

L'écoulement des ***glaciers de l'Aar*** *s'est également ralenti pendant ces deux dernières années: de 2 % lors de la première et de 4 % lors de la seconde. En revanche, il se comporte de manière très diverse selon les profils de mesure; on a même déterminé une accélération temporaire sur ceux du centre, associée à un ralentissement aux deux profils extérieurs, en amont et en aval. Au point de confluence des glaciers de Finsteraar et de Lauteraar, on a mesuré une augmentation de vitesse de 5 à 20 % entre 1990 et 1991, suivie d'une freinage de même ampleur de 1991 à 1992. Entre ces deux derniers exercices, cette accélération s'est répercutée plus bas, sur la section voisine du glacier inférieur de l'Aar, surtout face au pavillon Dollfus (jusqu'à 25 %). Ces prochaines années montreront si cette modification va se transmettre intégralement jusqu'à la langue terminale et, éventuellement, la faire progresser quelque peu.*

2.2 ACTIVITÉ ET ÉVÉNEMENTS 1992/93

Observation des langues glaciaires

Durant l'automne 1993, 79 glaciers ont été inspectés. La liste suivante indique le nombre de glaciers observés par les diverses institutions et personnes privées ayant participé à l'exercice. Tous les résultats sont réunis dans le chapitre 3.

Services forestiers des cantons	***52***	***Collaborateurs privés***	***9***
Berne	*11*	*H. Boss fils*	*2*
Grisons	*16*	*J.-J. Chabloz*	*3*
Obwald	*2*	*A. Godenzi*	*2*
Tessin	*6*	*E. Hodel*	*1*
Valais	*18*	*P. Mercier*	*1*
Vaud	*2*		
Forces motrices	***6***	***EPF Zurich: VAW-Glaciologie***	***11***
Aegina	*1*	*sur le terrain*	*2*
Mattmark	*1*	*photos aériennes*	*9*
Mauvoisin	*2*		
Oberhasli	*2*		

Vols photogrammétriques

*Comme de coutume, nous avons bénéficié des études photogrammétriques réalisées pour différents glaciers. Les glaciers de l'**Aar** ont ainsi été analysés par le bureau A. Flotron de Meiringen sur mandat des Forces motrices de l'Oberhasli. Le glacier de **Giétro** a été étudié par le bureau H. Leupin de Berne à la demande des Forces motrices de Mauvoisin. Quant au VAW (H. Bösch et W. Nobs), il s'est occupé de l'interprétation des prises de vues aériennes des glaciers de **Gries** et de l'**Allalin** (dans le cadre des expertises mandatées par les Forces Motrices respectives de l'Aegina et de Mattmark) ainsi que d'**Aletsch**, de **Findelen** et de la **Silvretta**, le tout à l'aide d'un réstituteur analytique récemment installé. Au total, l'Office fédéral de la topographie (S+T) et la Direction fédérale des mensurations cadastrales (D+M) ont réalisés 39 vols photogrammétriques portant sur les glaciers (tabl. 2.1).*

Projets de recherches

Les rapports pluriannuels publiés périodiquement dans le bulletin 'ICE' de 'l'International Glaciological Society' font le tour d'horizon des projets concernant la recherche glaciologique en Suisse. Les lignes suivantes sont par contre tirées du rapport annuel du VAW [1993].

*Dans le cadre d'une étude du Programme National de Recherche 31 (PNR 31) du Fonds National Suisse, une méthode de détection des mouvements superficiels de la glace et du pergélisol à l'aide de photos aériennes a été perfectionnée et appliquée à différents objets. Des photos aériennes prises annuellement à basse altitude ont permis d'analyser les modifications de la géométrie de la surface ainsi que le champ des directions d'écoulement du **glacier de Gruben**. Le but était de prédire l'évolution à moyen terme de lacs glaciaires latéraux menaçants [Kääb, 1996].*

Afin de compléter les mesures effectuées en 1992 sur le ***glacier du Gorner (Valais)****, de nouvelles mesures géoélectriques ainsi que des essais sismiques ont été réalisés dans trois forages situés au milieu du glacier, dans une zone de surcreusement. La géoélectrique montre que, dans la partie nord du glacier, de la glace pure est directement en contact avec le lit rocheux. Par contre, à la base de la partie centrale, d'importantes couches de glace impure ont été détectées, ce qui laisse envisager l'existence de couches sédimentaires entre le lit rocheux et la glace. Lors des essais sismiques le niveau d'eau dans le trou de forage peut être modifié, par exemple, en retirant une perche métallique plongée dans l'eau ou, à l'inverse en ajoutant de l'eau. La façon dont le niveau d'eau revient à sa position originale fournit des indications sur le type d'écoulement hydrologique à la base du glacier. Ici encore, la partie nord du glacier et son centre montre des différences évidentes. Au nord, l'amortissement des vibrations est faible; au centre du glacier, il est beaucoup plus important. Cette différence peut à nouveau être expliquée par la présence ou par l'absence de couches sédimentaires [Iken et al., 1996].*

La calotte du ***Colle Gnifetti (Monte Rosa)*** *a été modélisé en trois dimensions à l'aide d'un programme d'éléments finis. Le calcul numérique de la mécanique de cette calotte a permis de reconstituer le cheminement parcouru par les particules de glace ramenées à la surface lors des deux forages de 1982. L'âge de la glace extraite lors de cette campagne a pu être estimé et ensuite partiellement comparé avec les résultats obtenus par l'étude analytique des carottes. Ainsi, dans les profondeurs de la calotte du Colle Gnifetti, on peut raisonnablement compter avec la présence d'une glace âgée de plus de 1000 ans [Wagner, 1996].*

Le bon état de conservation d'"Oetzie", "l'homme des glaces" découvert dans l'Ötztal, a conduit à mener une étude analytique et numérique de ***l'écoulement basal d'un glacier****. On a pu constater que lorsque, dans une cuvette, une certaine relation existe entre l'amplitude et la longueur d'ondes des irrégularités du lit rocheux, un courant circulaire peut s'établir. La glace participant à cette circulation peut théoriquement rester indéfiniment dans cette cuvette. En ce qui concerne Oetzie, on peut estimer qu'à l'endroit le plus profond de la dépression où il se trouvait, la vitesse d'écoulement était réduite au maximum à 10 % de la vitesse moyenne du glacier. Il est très probable que la vitesse réelle ait été encore bien plus faible. Le fait qu'un corps soit demeuré prisonnier tant d'années sans avoir été transporté sur de grandes distances, ne contredit en rien les représentations actuelles de l'écoulement et du glissement des glaciers ainsi que des propriétés rhéologiques de la glace.*

A la demande des Chemins de fer de la région de la Jungfrau et du PNR 31, ***la stabilité du glacier suspendu du flanc ouest de l'Eiger*** *a été étudiée. Durant cette année, la température de la glace a été mesurée jusqu'au lit rocheux dans six forages différents; on a également défini la forme du lit à l'aide de radio-echosondages et mesuré la vitesse d'écoulement à la surface du glacier. Juste au-dessus du sérac frontal, la température à la base du glacier est particulièrement froide. Ce fait pourrait jouer un rôle de grande importance dans la stabilité de ce glacier suspendu, car immédiatement en amont du front, le glacier est gelé au soubassement rocheux. Si la température de glace devait monter jusqu'au point de fusion lors d'un changement climatique, ce glacier suspendu pourrait bien devenir instable [Lüthi et Funk, 1997; Funk, 1995].*

La banque de données glaciologiques du World Glacier Monitoring Service (WGMS) *a été retouchée et élargie. La structure de base se fonde toujours sur deux banques de données séparées. La première*

se compose des données relatives aux inventaires de glaciers nationaux, résumées dans le "World Glacier Inventory"; la seconde contient des données concernant les variations des glaciers, publiées dans "Fluctuations of Glaciers". Des données remontant jusqu'aux années 70 ont été reprises des six volumes de "Fluctuations of Glaciers" (1959-1990) déjà parus. Les données plus anciennes seront intégrées dans un proche avenir.

***Un lac du glacier de Gruben** est situé immédiatement à l'amont du bastion morainique frontal. Sur demande de la commune de Saas Balen, différents sondages géophysiques ont été réalisés sur ce "barrage morainique" afin d'en déterminer la stabilité. Les résultats d'études sismique de réfraction et de géoélectrique ont montré que cette moraine est en grande partie sèche et normalement consolidée. On ne trouve des matériaux sédimentaires grossiers non consolidés que proche de la surface, alors que des traces d'eau souterraine ne peuvent être détectées qu'au contact direct avec la roche en place [Vonder Mühll et al., 1996].*

*Dans un projet de recherche du VAW, une étude systématique sur **l'existence de pergélisol à basse altitude** a été réalisée. Deux sites (Druesberg (Canton de Schwyz) 1800 m et Brüeltobel (Canton d' Appenzell AI) 1100 m) ont été étudiés à l'aide de mesures géoélectriques et sismiques. La température du sol jusqu'à une profondeur de 1.5 m a également été mesurée au Brüeltobel. L'existence de pergélisol au Brüeltobel est caractérisée par la présence de pins à petite taille (Hexenwäldli). Au Druesberg, il s'agit par contre d'un site de pergélisol localisé au-dessus de la limite de la forêt [Wegmann, 1995].*

*Lors d'un projet les **interactions entre la neige et le pergélisol** ont été étudiées. Des études de base ont été effectuées sur différents sites de Haute-Engadine afin d'améliorer les mesures prises pour la construction de paravalanches en zone de pergélisol. Dans la région du glacier rocheux de Murtèl-Corvatsch, on a relevé 90 profils de neige provenant de deux endroits différents, l'un situé sur du pergélisol, l'autre en dehors. En parallèle, un système automatique d'enregistrement de données a mesuré la température de neige et du sol toutes les 3 heures. Entre les deux sites, on constate des différences importantes au niveau des températures, de la répartition de la taille des grains et de la résistance à la pression. On a également calculé la résistance thermique de la couche de neige ainsi que le flux de chaleur à travers la couche de neige [Keller et Gubler, 1993].*

Mouvement des glaciers

En raison du mauvais temps et du fort enneigement de l'automne 1993, il n'a pas été possible de procéder aux mesures habituelles sur les réseaux de jalons des glaciers de la région de Mattmark et de celui de Giétro. Quant à l'observation des pierres témoins posées sur le glacier de Corbassière et à l'enregistrement du mouvement du front glaciaire de Giétro, de juillet à novembre, elle a fourni des vitesses d'écoulement très faibles, analogues à celles de ces dernières années.

Depuis 1967, on mesure le mouvement du ***glacier de Corbassière*** *au moyen de deux profils marqués par des pierres témoins à Panossière et à Tsessette. Jusqu'en 1978, la vitesse moyenne du glacier s'est graduellement ralentie à ces deux endroits de 45 à 35 mètres et de 35 à 30 mètres par an. Elle a brusquement augmenté à 70 et 45 mètres par an les deux années suivantes, pour revenir ensuite peu à peu aux valeurs minimales précédentes. L'épaisseur de la glace s'étant peu modifiée, on peut s'attendre à de faibles vitesses d'écoulement pour ces prochaines années, vu sa grande influence sur le mouvement du glacier. L'affaibiissement de l'alimentation en glace se traduira dans quelque temps par un arrêt de l'allongement de sa langue.*

On a installé un dispositif de mesure et d'enregistrement des mouvements du ***glacier de Giétro*** *(cryocinégraphe) en 1968 (cf. illustrations chap. 4). Les vitesses saisonnières ainsi observées se sont modifiées d'année en année, avec la même ampleur que celles mesurées annuellement aux jalons. Pendant cette dernière décennie, elles se sont réduites des valeurs les plus élevées aux plus basses de la série d'observations (cf. chap. 3).*

Tabelle 2.1: **Vermessungsflüge 1992 und 1993**
*Tableau 2.1: **Vols photogrammétriques 1992 et 1993***

a) Jährliche Flüge - *Vols annuels*

- Beobachtungsnetz der Glaziologischen Kommission - *Réseau de la Commission glaciologiques:*

Nr.[1]	Gletscher	Aufnahmedatum 1992	Aufnahmedatum 1993	Luftbilder Nr.	Fluglinie Nr.	Aufnahme [2]	Fussnote
1	Rhone	16.9.		3197 - 3210	501.3	V+D	
			2.9.	4784 - 4785	255.625	L+T	3)
5	Grosser Aletsch	21.8.		0965 - 0978	510.1	L+T	4)
		18.9.		1426 - 1437	510.2	L+T	5)
		18.9.		1415 - 1425	510.3	L+T	6)
			18.8.	4169 - 4182	066.014	L+T	4)
			21.9.	5049 - 5060	066.015	L+T	5)
			21.9.	5061 - 5072	066.016	L+T	6)
47	Sex Rouge	25.9.		1538 - 1547	570	L+T	7)
48	Prapio		18.8.	4226 - 4237	066.019	L+T	7)
55	Trift (Gadmen)	16.9.		3145 - 3154	201.3	V+D	
56	Rosenlaui	18.9.		1472 - 1475	202	L+T	8)
			18.8.	4166 - 4168	066.005	L+T	8)
57	Oberer Grindelwald	18.9.		1405 - 1414	210.1	L+T	
			17.8.	4079 - 4085	066.006	L+T	
58	Unterer Grindelwald	21.8.		1024 - 1028	210.2	L+T	
			17.8.	4086 - 4090	066.007	L+T	
61	Gamchi	21.8.		0979 - 0988	220	L+T	9)
64	Blümlisalp		18.8.	4184 - 4195	066.008	L+T	9)

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

Nr.[1]	Gletscher	Aufnahmedatum 1992	Aufnahmedatum 1993	Luftbilder Nr.	Fluglinie Nr.	Aufnahme [2]	Fussnote
Mö	Mönch (Südflanke)	21.8.		0994 - 0999	511	L+T	10)
			17.8.	4075 - 4078	066.023	L+T	
Hb	Hohlaub	18.9.		8250 - 8272	522.1	V+D	11)
13	Fee						
Hm	Hohbalm						
Bi	Bider	18.9.		8273 - 8278	522.2	V+D	12)
Gr	Gruben (Grüebu)	18.9.		8323 - 8331	523.1	V+D	
Ki	Kin	18.9.		8359 - 8368	526.1	V+D	13)
Fi	Festi		20.10.	8571 - 8581	066.029	V+D	13)
Hg	Hohberg						
107	Bis	18.9.		8307 - 8322	526.2	V+D	14)
Hl	Hohlicht	18.9.		8288 - 8306	526.3	V+D	15)
		18.9.		8332 - 8343	526.4	V+D	16)
18	Lang	18.9.		1336 - 1385	530	L+T	17)
St	Stammbach		1.9.	4470 - 4513	066.033	L+T	17)
Ne	Nest						

Bemerkungen zu den Fussnoten siehe Seite 44 - *Remarques ou notes explicatives voir page 44.*

Tabelle 2: **Fortsetzung 1** *Tableau 2:* ***Continuation 1***

No.[1]	*Glacier*	*Date du levé* 1992	1993	*Clichés no.*	*Ligne de vol no.*	*Levé* [2]	*Note expl.*
49	Pierredar	25.9.		1538 - 1547	570	L+T	18)
			18.8.	4226 - 4237	066.019	L+T	18)
59	Eiger	21.8.		0945 - 0964	211.2	L+T	19)
Hf	Hochfirn (Jungfrau)		17.8.	4091 - 4108	066.021	L+T	19)
Si	Sillern	21.8.		1000 - 1023	222.1	L+T	20)
Ba	Balmhorn		20.8.	4311 - 4312	264.445	L+T	20)
Al	Altels		12.8.	3774 - 3775	264.415	L+T	21)
105	Rossboden	18.9.		8210 - 8217	691.2	V+D	22)
			20.8.	2428 - 2429	274.16	L+T	23)

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

No.[1]	*Glacier*	*Date du levé* 1992	1993	*Clichés no.*	*Ligne de vol no.*	*Levé* [2]	*Note expl.*
3	Gries (Ägina)	18.9.		8229 - 8241	502	V+D	24)
10	Schwarzberg	18.9.		8369 - 8377	521.5	V+D	
			20.10.	8549 - 8561	067.005	V+D	
11	Ailalin	18.9.		8378 - 8390	521.2	V+D	25)
		18.9.		8399 - 8418	521.3	V+D	26)
			20.10.	8562 - 8570	067.003	V+D	25)
16	Findelen	18.9.		8344 - 8358	525	V+D	27)
19	Turtmann		1.9.	4538 - 4539	274.12	L+T	28)
Di	Diablons						
37	Giétro		20.10.	8591 - 8600	068.001	V+D	
43	Trient		20.10.	8601 - 8613	066.017	V+D	
53	Stein	18.9.		1476 - 1486	203	L+T	29)
54	Steinlimmi		18.8.	4122 - 4129	066.037	L+T	29)
Ba	Balmhorn	18.9.		1386 - 1393	222.2	L+T	30)
Al	Altels		16.8.	0026 - 0034	066.034	V+D	30)
90	Silvretta	16.9.		3211 - 3222	131	V+D	31)
			2.9.	0336 - 0348	066.001	V+D	31)
94	Morteratsch	16.9.		3223 - 3243	801.1	V+D	
104	Basodino	18.9.		8218 - 8228	671	V+D	
			11.8.	3646 - 3647	265.40	L+T	

Tabelle 2: **Fortsetzung 2** *Tableau 2:* ***Continuation 2***

b) Mehrjährliche Flüge - *Vols espacés de plusieurs années*

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

Nr.[1]	Gletscher	Aufnahmedatum 1992	Aufnahmedatum 1993	Luftbilder Nr.	Fluglinie Nr.	Aufnahme [2]	Fussnote
2	Mutt		1.9.	4579 - 4582	066.061	L+T	
4	Fiescher		1.9.	4432 - 4445	066.072	L+T	32)
			1.9.	4561 - 4576	066.073	L+T	33)
106	Mittelaletsch		1.9.	4446 - 4463	066.068	L+T	
7	Kaltwasser		1.9.	4514 - 4519	066.077	L+T	34)
17	Ried		20.10.	8582 - 8590	066.065	V+D	
21	Bella Tola	18.9.		1438 - 1442	48	L+T	
44	Paneirosse	28.8.		1048 - 1065	52	L+T	
45	Grand Plan Névé	25.9.					
46	Martinets	25.9.		1515 - 1537	52	L+T	
52	Gauli		18.8.	4147 - 4164	066.071	L+T	35)
60	Tschingel		18.8.	4196 - 4213	066.067	L+T	36)
109	Alpetli (Kanderfirn)						
110	Lötschberg (siehe Sillern, Balmhorn, Altels)						
63	Lämmern (Wildstrubel)	18.9.		1459 - 1471	53	L+T	37)
65	Rätzli	18.9.		1443 - 1458	55	L+T	38)
111	Ammerten						
68	Kehlen		2.9.	4835 - 4836	255.72	L+T	39)
69	Rotfirn						
70	Damma		2.9.	4760 - 4761	255.655	L+T	40)
117	Valleggia		1.9.	4591 - 4600	066.063	L+T	
118	Val Torta						
119	Cavagnoli		1.9.	4583 - 4586	066.062	L+T	
120	Corno		1.9.	4587 - 4590	066.064	L+T	41)
PN	Plan Névé (VS)	25.9.		1508 - 1514	58	L+T	42)

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

No.[1]	*Glacier*	*Date du levé 1992*	*Date du levé 1993*	*Clichés no.*	*Ligne de vol no.*	*Levé* [2]	*Note expl.*
75	Firnalpeli, Titlis		18.8.	4112 - 4121	066.074	L+T	43)
Bi	Birch		6.12.	0684 - 0693	066.500	V+D	44)

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

2 Vermessungsflug ausgeführt durch - *Vol effectué par:*
L+T: Bundesamt für Landestopographie - *Office fédéral de la topographie,*
V+D: Eidgenössische Vermessungsdirektion - *Direction fédérale des mensurations cadastrales.*

3 - 44 Zusätzlich erfasste Gletscher - *Autres glaciers saisis par le vol:*

3 Gersten, Sidelen
4 Trugberg, Kranzberg, Dreieckhorn
5 Mittelaletsch, Märjelensee
6 Grosses Gufer, Skipiste Fiescherhorn
7 Dard, Mauvais, Culan
8 Dossen, Schwarzwald
9 Kilchbalm, Gspaltenhorn, Öschinen, Fründen, Doldenhorn
10 Jungfraufirn, Ewigschneefeld
11 Kessjen, Fall, Bider
12 Balfrin
13 Weingarten, Dürren
14 Gabelhorn, Rothorn, Schali
15 Schali, Schmal, Ross
16 Bergsturz Randa
17 Anen, Distlig, Lauibach, Augstkummen, Birch, Hangend
18 Dard, Mauvais, Culan
19 Kalli, Guggi, Kühlaui, Giessen, Rottal, Breitlauenen, Schmadri
20 Alpetli, Lötschberg, Faulen, Doldenhorn, Biberg, Tatlishorn, Schwarz, Rinderhorn
21 Fluh, Dala, Lötschberg
22 Griessernen
23 Griessernen, Sirwolten, Gruben, Mattwald, Bodmer
24 Ritz, Merezenbach, Sulz, Corno
25 Hohlaub
26 Hohlaub, Kessjen
27 Triftji, Adler
28 Brunegg
29 Taleggli, Gigli, Drosi, Kehlen, Kalchtal
30 Schwarz
31 Tuoi, Vermunt, Ochsentaler, Klostertaler
32 Trift (Wannenhorn)
33 Studer, Galmi
34 Hohmatten, Alpjer
35 Hühnertälli
36 Breithorn, Schmadri, Breitlauenen, Rottal
37 Schwarzhorn (Lämmern), Steghorn, Strubel
38 Weisshorn, Tierberg, Strubel
39 Wallenbur, Stein, Steinlimmi
40 Blauberg
41 Gries (Ägina)
42 Chalin, Soi
43 Galtiberg
44 Nest

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 3.1 und 3.2 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 114 Berichtsjahre seit 1880 zusammenfassend dargestellt durch die jährlichen Angaben über a) die Zahl der klassierten Gletscher (N) und b) den Prozentanteil wachsender, stationärer und schwindender Gletscher. Die Zahlengrundlagen dazu sind veröffentlicht in Tabelle 35 des 99./100. Jahrbuchs [Kasser et al., 1986] für die Beobachtungsjahre 1879/80 bis 1978/79 und ergänzt im 101.-114. Bericht für die Jahre 1979/80-1992/93.

Der Croslinagletscher am Campo Tencio, der im Beobachtungsjahr 1989/90 in das Messnetz aufgenommen wurde, erhält neu die Gletschernummer 121. In den Abbildungen 3.1 und 3.2 erscheint er noch mit der Abkürzung "Cr".

3.2 LÄNGENÄNDERUNG 1991/92

Die Ergebnisse des Berichtsjahres unterscheiden sich gesamthaft wenig von denen des Vorjahres. In der Stichprobe haben zahlen- und anteilmässig die wachsenden und auch die schwindenden ein wenig abgenommen, die stationären leicht zugenommen. In der 113 Jahre umfassenden Beobachtungsreihe seit 1880 wiegen Schwundjahre bei weitem vor. Der Anteil der wachsenden Gletscher war in 99 Jahren kleiner, der Anteil der schwindenden in 92 Jahren grösser als 50 %. Das Normaljahr, das (mit 21 % wachsenden, 71% schwindenden Zungen) auf Platz 57 genau in der Mitte der nach der Grösse des Schwundes aufgereihten Zahlenwerte liegt, ist ein ausgesprochenes Schwundjahr. Das Berichtsjahr, das in den betreffenden Reihen die Ränge 15, 17 und 28 belegt, ist wie das Vorjahr (Rang 18, 9 und 25) der Klasse der starken Schwundjahre zuzuordnen. An der Spitze dieser Ranglisten stehen die Jahre 1905, 1947 und 1952 mit je einem einzigen wachsenden Gletscher und die Jahre 1942, 1947 und 1950 mit mehr als 95 % schwindenden Gletschern.

Die unterschiedliche Tendenz zu verstärktem Schwund am Zungenende und nachlassendem Schwund im Massenhaushalt der Gletscher, die im letzten Bericht als Kennzeichen der 112. Messperiode eingehend besprochen ist, hat im Berichtsjahr angedauert. Das Nachlassen des Massenschwunds zeigt sich - ausser in den Haushaltszahlen - auch in der Längenänderung kleiner Gletscher, die auf Klimaeinflüsse unverzüglich reagieren. Bei solchen war 1992 in 3 Fällen (**Kessjen, Pizol, Paradisino**) ein Längenzuwachs und in 5 Fällen (**Kaltwasser, Bella Tola, Paneirosse, Grand Plan Névé, Plattalva**) ein Stillstand festzustellen, nachdem im Vorjahr ausser beim wachsenden **Kaltwassergletscher** ein Längenschwund stattgefunden hatte. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass der Zuwachs beim vollständig ausgeaperten **Kessjengletscher** vermutlich durch eine Rutschbewegung, beim **Paradisino** offensichtlich durch den am Zungenende angelagerten Lawinenschnee zustande kam.

Der gegensätzliche Fall, in dem der Massenzuwachs eines Gletschers mit mehrjähriger Verzögerung als Längenzuwachs an dessen Zungenende erscheint, trat im Berichtsjahr nur noch bei drei Gletschern auf. Der mittelgrosse **Rossboden** und zwei grosse, **Turtmann** und **Mont Durand**, haben den vorjährigen Vorstoss fortgesetzt, wogegen der grosse **Zmutt** und zwei mittelgrosse, **En Darrey** und **Damma**, nach mehrjährigem Vorstossen erstmals wieder zurückgegangen sind. Am **Fieschergletscher** ergab sich der Längenzuwachs weitgehend zufällig, da das Zungenende ungleichmässig auf der Ostseite durch schuttbedeckte Lawinenablagerungen verlängert, auf der Westseite durch Schmelzung verkürzt wurde. Beim **Suretta** dagegen ist der vorjährige, durch Lawinenanlagerung entstandene grosse Zuwachs fast vollständig wieder abgeschmolzen.

Mindestens ebensoweit, z.T. bis zweimal soweit zurückgeschmolzen wie der **Suretta** sind im Berichtsjahr folgende Gletscher: **Allalin, Zinal, Moming, Cheillon, Boveyre, Oberer Grindelwald** und **Paradies**, abgesehen von **Ofental, Gorner** und **Lenta** mit grossen Mehrjahreswerten. Die Zunge des **Paradiesgletschers** ist rund 600 m hinter dem Gletschertor durch eine ausapernde Felsstufe in den Vorjahren immer stärker eingeschnürt, im Berichtsjahr vollständig durchtrennt worden. Das neu entstandene dünn ausflachende Zungenende ist bereits um gut 80 m zurückgeschmolzen und liegt nun 704 m weiter hinten und 270 m höher als das vorjährige, das auf rund 2410 m ü.M. am talseitigen Rand der abgetrennten Toteismasse um etwa 40 m zurückgeschmolzen ist. Der Hinterrhein fliesst von seiner neuen Quelle durch das vormals von einer gut 200 m mächtigen Gletscherzunge, heute nur noch teilweise von einer

dünnen Toteisplatte überdeckte Vorfeld zur rund 3 km entfernten und fast 500 m tiefer gelegenen Stelle, wo er dem Gletschertor bei den neuzeitlichen Eishochständen letztmals um 1850 entströmte.

Wie schon in früheren Jahren ist am zurückschmelzenden Zungenende des **Tschiervagletschers** ein **Stück Holz** zum Vorschein gekommen, das der Beobachter, Kreisförster G. Bott, zur Untersuchung und Altersbestimmung weiterleitete. Es wurde im Radiocarbonlabor des Physikalischen Institutes der Universität Bern präpariert, aufbereitet und datiert. Die Radiocarbondatierung ergab ein Alter von 6130 ± 40 Jahren BP.

Am Ufer des **Grossen Aletschgletschers** hat der Fachspezialist der Universität Zürich, H.P. Holzhauser, im vergangenen Sommer Humusschichten mit teilweise im Boden verwurzelten Holzresten entdeckt, die der absinkende Eisrand in den letzten Jahren freigegeben hat. Aus der Altersbestimmung geht hervor, dass an dieser Stelle während der Römerzeit mehrere Jahrhunderte lang Wachstumsbedingungen herrschten, unter denen sich ein stattlicher Baumbestand entwickeln konnte. Das lässt darauf schliessen, dass der Gletscher damals erheblich kleiner, wahrscheinlich gegen 100 m dünner und ungefähr 1 km kürzer war als heute, d.h. rund 4 km kürzer als bei den Hochständen im 17. und 19. Jahrhundert. Die Vermutung, die Gletscher seien während gut 5 Jahrtausenden nie kleiner gewesen als heute, mag für die normalerweise im Firngebiet gelegene Fundstelle des Eismannes am Hauslabjoch im Ötztal zutreffen. Offenbar ist sie kaum, jedenfalls nur mit Vorbehalt übertragbar auf das Zungengebiet der grossen Talgletscher, die in den Westalpen weit unter die Waldgrenze herunterreichen. Im Hinblick auf die Ermittlung der minimalen Ausdehnung der Alpengletscher in der Nacheiszeit wäre ein Andauern des gegenwärtigen Gletscherschwunds von Nutzen, der mehr als akademischen Wert hat, wenn dadurch die Grundlagen vermehrt werden, die für eine Analyse und Interpretation der Klimaentwicklung in der Vergangenheit und in der Gegenwart notwendig sind.

3.3 LÄNGENÄNDERUNG 1992/93

Ungünstige Schnee- und Wetterverhältnisse im Spätsommer und Herbst 1993 haben mancherorts die Messungen erheblich behindert, wenn nicht ganz verhindert. Von den 121 Gletscherzungen des Beobachtungsnetzes sind 79 beobachtet und ausgewertet worden. In 6 Fällen ist ein Längenzuwachs, in den übrigen 73 Fällen ein Längenschwund zu vermelden. Im Berichtsjahr 1991/92 dagegen sind unter den 106 erfassten Gletscherzungen 94 schwindende, 7 wachsende und 5 stationäre gezählt worden. Der Anteil der wachsenden Gletscher hat sich somit unbedeutend von 7 auf 8, der Anteil der schwindenden geringfügig von 89 auf 94 % erhöht.

Von den wachsenden Gletschern des Berichtsjahrs sind ein grosser (**Mont Durand**), ein mittelgrosser (**Rossboden**) und ein kleiner (**Paradisino**) bereits im Vorjahr vorgerückt. Zwei grosse (**Zmutt** und **Corbassière**) und ein mittelgrosser (**Tseudet**) haben einen früheren Vorstoss nach ein- oder mehrjährigem Unterbruch fortgesetzt. Von den wachsenden Gletschern des Vorjahrs sind im Berichtsjahr je zwei zurückgeschmolzen (**Fiescher** und **Turtmann**) oder nicht beobachtet worden (**Kessjen** und **Pizol**).

Die grössten Schwundbeträge sind am **Lavaz** (386 m in 4 Jahren), **Moming** (80 m), **Oberen Grindelwald** (60 m) und **Roseg** (47 m) ermittelt worden. Beträchtlich verkürzt (um 38 m) hat sich auch der **Suretta**, der wie der Lavaz zuweilen durch grosse, am Zungenende abgelagerte Schneelawinen verlängert wird (beispielsweise 1990/91 um 48 m).

Die Vergleichszahlen der Tabelle 3.2 lassen wie die statistischen Übersichten der Abbildungen 3.3b ein unvermindertes Andauern des langfristig vorherrschenden Gletscherschwunds in den Schweizer Alpen erkennen. Das langfristige Vorherrschen des Schwundes ist auch bei den Gletschern, die wie der **Trient** in allen Wachstumsperioden beträchtlichen Längenzuwachs erhielten, nicht zu übersehen.

Das Beispiel des **Rhonegletschers** zeigt, wie sich das Verhalten eines Gletschers mit der Zeit verändern kann zufolge seiner eigenen Veränderung. Solange der Rhonegletscher (heute 17 km^2 gross, 10 km lang) im flachen Talboden von Gletsch stirnte, verlief seine Längenänderung ähnlich wie die des wesentlich kleineren **Trient** (heute 6.6 km^2 gross, 5 km lang), der aus einem breiten Firnbecken in einer schmalen steilen Zunge nordwärts auf einen flachen Talboden abfliesst. Das Verhalten der Zunge des Rhonegletschers hat sich seit den 40er Jahren stark verändert, da sich die Eismassen von der Talsohle über die Steilstufe hinauf zum Belvédère zurückgezogen haben und die Geometrie des Gletschers nicht mehr dieselbe ist. Das Beispiel weist hin auf einen der Vorbehalte, die bezüglich der Vergleichbarkeit der in den Statistiken der Gletscherberichte dargestellten Zahlen immer wieder in Erinnerung zu rufen sind.

Ein weiterer Vorbehalt ergibt sich in beständiger Wiederholung aus dem wechselnden Umfang und aus der wechselnden Zusammensetzung der jährlichen Stichproben. Dies gilt für die Stichproben der Jahre 1991/92 und 1992/93 in besonderem Masse, da beispielsweise von den 28 Netzgletschern in den Urner-, Glarner- und Nordbündner Alpen im Jahr 1992/93 nur 6 erfasst, im Jahr davor dagegen 6 nicht erfasst wurden.

Die unterschiedliche Tendenz zu verstärktem Schwund am Zungenende und nachlassendem Schwund im Massenhaushalt der Gletscher, die für das Vorjahr kennzeichnent ist, hat weiter angedauert.

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 3.1 et 3.2 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 114 ans, soit de 1879/80 jusqu'à 1992/93, par les données suivantes: a) le nombre de glaciers observés (N) et b) le pourcentage des glaciers en crue, stationnaires et en décrue. Les chiffres, sur lesquels se fonde cette figure, sont publiés dans le tableau 35 des 99^{e}/100^{e} rapports [Kasser et al., 1986] pour la série centenaire de 1879/80 à 1978/79 et dans les 101^{e}-114^{e} rapports pour les années suivantes 1979/80-1992/93.

Le glacier de ***Croslina****, proche du Campo Tencio, est integré pour la première fois dans ce réseau en 1989/90 et a le numéro 121. Dans les figures 3.1 et 3.2 il apparait encore avec l'abréviation „Cr".*

3.2 VARIATIONS DE LONGUEUR 1991/92

Dans leur ensemble, les résultats de cet exercice ne diffèrent guère de ceux du précédent. Dans l'échantillon considéré, le nombre absolu et le pourcentage des glaciers stationnaires ont augmenté quelque peu, tandis que les proportions de ceux en crue et en décrue ont subi une faible diminution. Les années de retrait glaciaire sont, de loin, les plus nombreuses depuis 1880. Pendant cette période de 113 ans, le nombre des langues glaciaires en crue est inférieur à la moitié des glaciers observés dans 99 cas, celui des glaciers en décrue supérieur à ce même seuil dans 92 cas. Il en résulte que l'année normale issue de cette statistique (21 % de langues glaciaires en crue, 71 % en décrue) est caractérisée par une nette décrue, puisqu'elle occupe la 57^{e} place, c'est-à-dire celle du milieu, dans la liste des valeurs de retrait classées par ordre croissant. Quant à l'exercice 1991/92, il se situe aux 15^{e}, 17^{e} et 28^{e} rangs de ces mêmes listes: proportion des glaciers en crue, en décrue et recul moyen; il appartient ainsi à la catégorie des années de forte décrue, de même que son prédécesseur immédiat (18^{e}, 9^{e} et 25^{e} rangs). Les premières places de ces séries ascendantes reviennent aux années 1905,1947 et 1952 avec, chacune, un seul glacier en crue, aux années 1942, 1947 et 1950, qui affichent une proportion supérieure à 95 % de glaciers en décrue.

*Les tendances opposées (retrait renforcé des extrémités des langues glaciaires et diminution des pertes enregistrées dans le bilan de masse des glaciers) présentées dans le rapport précédent, comme les caractéristiques dominantes de la 112^{e} campagne de mesures, se sont maintenues durant le présent exercice. La réduction des diminutions de volume apparaît non seulement dans les chiffres des bilans, mais aussi dans les variations de longueur des petits glaciers réagissant très rapidement aux influences climatiques. En 1992, on a observé une progression de la langue glaciaire dans trois cas (**glaciers de Kessjen, de Pizol** et **de Paradisino**) et, dans cinq cas (**glaciers de Kaltwasser, de Bella Tola, de Paneyrosse, de Grand Plan Névé** et **de Plattalva**), un arrêt de la décrue intervenue l'année précédente, sauf au **glacier de Kaltwasser** qui, lui, progressait encore. Mentionnons aussi que l'allongement du **glacier de Kessjen**, entièrement débarrassé de son manteau neigeux hivernal, est probablement la conséquence d'un glissement, et celui du **glacier de Paradisino**, consécutif au cône de neige d'une avalanche tombée sur l'extrémité de cette langue glaciaire.*

*Durant l'exercice considéré, trois glaciers seulement ont subi le processus opposé, selon lequel un gain de masse se traduit par une extension de la langue glaciaire au bout de plusieurs années seulement. Il s'agit du **glacier de Rossboden**, aux dimensions moyennes, et de ceux **de Tourtemagne** et **du Mont Durand**, de grande taille. En revanche, le grand **glacier de Zmutt** et ceux, plus modestes, **d'En Darrey** et **de Damma** ont recommencé à décroître, après plusieurs années de crue. La progression du **glacier de Fiesch** reste incertaine, car son extrémité s'est allongée irrégulièrement dans sa partie orientale par des dépôts d'avalanches recouverts de débris rocheux, tandis que celle de l'ouest s'est raccourcie par fusion. En revanche, la notable progression du **glacier de Suretta**, survenue par accumulation de la neige des avalanches de l'année précédente, a totalement disparu par ablation en 1992.*

*Durant cet exercice, on a observé un retrait d'ampleur égale à, voire double de celui du **glacier de Suretta**, dans les cas suivants: **glaciers de l'Allalin, de Zinal, de Moming, de Cheilon, de Boveyre, de Grindelwald supérieur** et **du Paradis**, sans oublier ceux **de la vallée du Fuorn, du Gorner** et **de Lenta**,*

dont la décrue mesurée sur plusieurs années est appréciable. Depuis quelque temps, la largeur de la langue du ***glacier du Paradis*** *se rétrécissait de plus en plus par apparition d'un verrou rocheux situé 600 m en amont du portail glaciaire. En été 1992, cet étranglement a abouti à une scission complète et la nouvelle langue ainsi formée, mince et plate, s'est encore retirée de 80 m pour se situer maintenant à 704 m en amont et 270 m plus haut que l'ancienne. Celle-ci, réduite à une masse de glace morte, se trouve actuellement à l'altitude de 2410 m. Le Rhin postérieur, qui sort de ce glacier, parcourt aujourd'hui une vaste surface périglaciaire, occupée naguère par une langue de 200 m d'épaisseur et maintenant recouverte en partie par une mince couche de glace morte; il rejoint, trois kilomètres en aval et presque 500 m plus bas, l'emplacement de l'ancien portail d'où il s'échappait du glacier en 1850, lors du dernier maximum du «petit âge glaciaire».*

Comme ces années dernières, l'observateur attitré du ***glacier de Tschierva****, G. Bott, forestier de district, a transmis, un morceau de bois mis à jour par le retrait de la glace, pour en déterminer l'ancienneté. Dans un labor de l'institut Physique à Berne on a daté ce morceau de bois à l'aide du radiocarbon. L'âge radiocarbon est de 6130 année ± 40 année BP.*

En outre, H.P. Holzhauser, spécialiste de l'université de Zurich, a découvert, en bordure du ***grand glacier d'Aletsch****, des couches d'humus contenant des souches encore partiellement enracinées et réapparues ces dernières années par l'abaissement du bord de la masse glaciaire. La détermination de leur âge a révélé l'existence en cet endroit, pendant plusieurs siècles de l'époque romaine, de conditions climatiques permettant la croissance d'une forêt de belle apparence. On peut en conclure qu'en ce temps-là, le glacier était 100 m moins épais et 1 km plus court qu'aujourd'hui, son extrémité se trouvant 4 km en amont de l'endroit atteint lors des phases maximales des crues des XVII^{e} et XIX^{e} siècles. La récente découverte de l'«homme des glaces» au Hauslabjoch, dans l'Ötztal, a permis d'émettre une hypothèse selon laquelle les glaciers n'auraient jamais été plus réduits qu'actuellement pendant ces cinq derniers millénaires. Si on peut l'accepter pour les névés voisins du lieu de cette trouvaille, elle ne peut guère être élargie, si ce n'est avec grande précaution, aux glaciers de vallée des Alpes occidentales, dont les langues descendent nettement au-dessous de la limite des arbres. Une poursuite du retrait glaciaire actuel n'aurait pas qu'un intérêt purement théorique quant à la détermination de l'extension minimale atteinte par les glaciers alpins depuis la fin de la dernière glaciation; elle permettrait, en effet, d'améliorer les données fondamentales nécessaires à une analyse et à une interprétation concrètes des vicissitudes du climat dans le passé et le présent.*

3.3 VARIATIONS DE LONGUEUR 1992/93

En cette année du centenaire de la Commission des glaciers, les observateurs ont éprouvé des difficultés à réunir les données de ce 114e rapport, car leurs travaux de mesures ont été fortement perturbés, voire rendus impossibles dans certains cas, par les conditions météorologiques défavorables et le fort enneigement de la fin de l'été et de l'automne 1993. Durant cette campagne, ils ont inspecté 84 glaciers seulement sur les 121 que compte le réseau d'observation, mais les valeurs obtenues n'ont pu être interprétées que dans 79 cas. Les langues glaciaires ont progressé dans 6 cas et reculé dans les 73 autres, tandis que, sur les 106 glaciers observés l'année précédente, 94 avaient décru, 7 avaient avancé et 5 étaient restés stationnaires. La proportion des glaciers en crue a donc varié de manière insignifiante de 7 à 8 %, et celle des glaciers en décrue a augmenté quelque peu, de 89 à 94 %.

*Parmi les glaciers en crue de cet exercice, trois avaient déjà progressé en 1991/92, un grand (**Mont Durand**), un moyen (**Rossboden**) et un petit (**Paradisino**). Quant aux trois autres, deux de vastes dimensions (**Zmutt** et **Corbassière**), et un moyennement étendu (**Tseudet**), ils ont réamorcé leur avance antérieure après une pause d'une ou de plusieurs années. Des quatre autres glaciers qui s'étaient allongés pendant l'exercice antérieur, deux ont reculé à nouveau (**Fiesch** et **Tourtemagne**), tandis que les deux autres (**Kessjen** et **Pizol**) n'ont pas été observés.*

*On a déterminé les retraits les plus marqués aux **glaciers de Lavaz** (386 m en 4 ans), de **Moming** (80m), **supérieur de Grindelwald** (60 m) et de **Roseg** (47 m). Celui de **Suretta** s'est aussi considérablement raccourci (de 38 m environ), mais, à l'instar de celle du **glacier de Lavaz**, sa langue terminale se prolonge par d'importants restes d'avalanches (48 m environ en 1990/91, par exemple).*

*Les chiffres comparatifs du tableau 3.2 et les graphiques statistiques des figures 3.3b traduisent, de manière catégorique, la persistance du retrait général des glaciers des Alpes suisses. Même pour des glaciers tels que celui du **Trient**, il ne faut pas sous-estimer ce retrait à long terme, en dépit de la progression très nette de leur langue terminale lors de chaque période de crue.*

*L'exemple du **glacier du Rhône** (actuellement 17 km^2 de surface et 10 km de longueur) montre les différences de comportement d'un appareil glaciaire au cours du temps, à la suite du changement de sa forme. Tant que son extrémité se trouvait encore, en amont de Gletsch, dans un fond de vallée peu incliné, ses variations de longueur reflétaient plus ou moins fidèlement celles du **glacier du Trient**, nettement plus petit (actuellement 6.6 km^2 et 5 km) et qui, à partir d'un vaste névé, s'écoule vers le nord et se termine par une langue étroite et pentue, débouchant dans une vallée peu inclinée. Quant au glacier du Rhône ses fluctuations ont beaucoup changé depuis le début des années quarante, lorsqu'il a commencé à se retirer le long du verrou rocheux vers le haut du Belvédère. La géometrie a beaucoup changé. Cet exemple comparatif met en évidence l'une des réserves qu'il convient d'avoir constamment présente à l'esprit lors des comparaisons que l'on pourrait déduire des chiffres statistiques tirés des rapports sur les glaciers.*

On peut formuler une autre objection, valable chaque année et découlant de l'ampleur et de la composition, constamment changeantes, des échantillons annuels. Elle est particulièrement appropriée à ces

deux derniers exercices, par exemple, puisque seuls 6 glaciers, sur les 28 que compte le réseau d'observation dans les Alpes d'Uri, de Glaris et du nord des Grisons, ont été observés cette année, alors que la situation était exactement le contraire l'année dernière, avec 6 glaciers non observés pour la même région.

Les caractéristiques de la 112e période (1990/91) de mesure que nous avons mises en évidence dans le rapport précédent (1991/92) sur les glaciers, soit une différenciation de l'accélération du retrait des langues glaciaires et une baisse des bilans glaciologiques afaiblie, ont continué à se manifester durant la période 1992/93.

Tabelle 3.1: **Längenänderung 1991/92 - Zusammenfassung: Einzugsgebiete**

Gebiet	Anzahl Gletscher				
	Netz 1)	Stichprobe 2)	Klassen wachsend 3)	stationär 4)	schwindend 5)
Rhone (II)	52	49	4	4	41
Aare (Ia)	21	19	-	-	19
Reuss (Ib)	11	9	-	-	9
Linth/Limmat (Ic)	6	4	1	1	2
Rhein/ Bodensee (Id)	11	9	-	-	9
Inn (V)	7	7	-	-	7
Adda (IV)	5	4	1	-	3
Tessin (III)	8	5	1	-	4
Total	121	106	7	5	94

1 Nachstehend sind die Gletscher mit ihrer Nummer (1-121) aus Tab. 3.3 aufgezählt. Ihre Zuordnung zu den Einzugsgebieten (I-V) ist in Tab. 3.3 und in Abb. 3.1 ersichtlich. Die Grenze zwischen den Hauptketten folgt den Tälern oder Pässen: Col de Balme - Rhone - Furka - Urseren - Oberalp - Vorderrhein - Schanfigg - Flüela - unteres Inntal.
2 Nicht beobachtet: 6, 33, 71, 72, 77, 80, 82, 103, 108, 112, 113, 115, 116, 118, 121.
3 Wachsende Gletscher: 4, 12, 19, 35, 81, 101, 105.
4 Stationäre Gletscher: 7, 21, 44, 45, 114.
5 Schwindende Gletscher: 1-3, 5, 8-11, 13-18, 20, 22-32, 34, 36-43, 46-70, 73-76, 78, 79, 83-100, 102, 104, 106, 107, 109-111, 117, 119, 120.

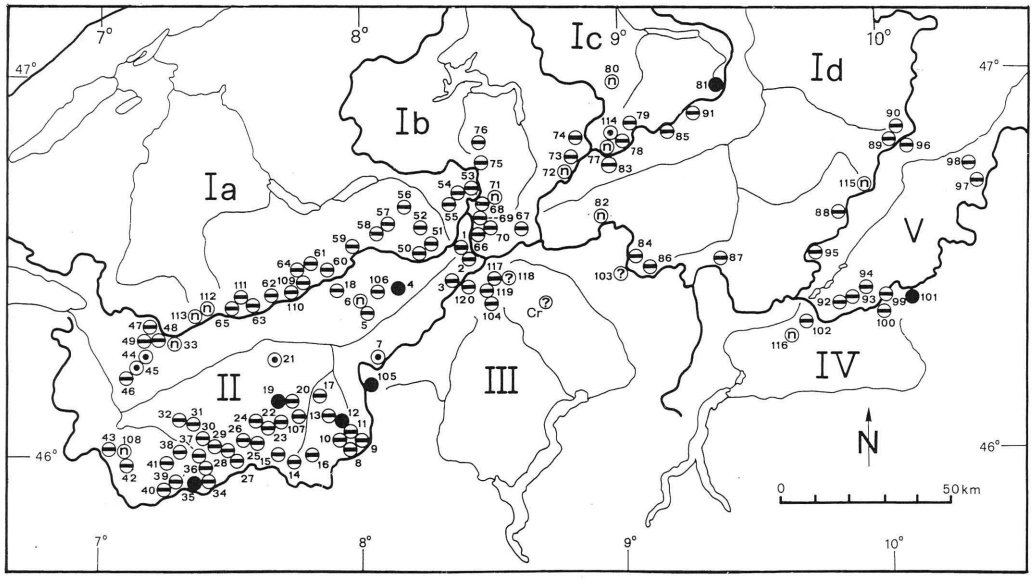
Tableau 3.2: ***Variations de longueur 1992/93 - Récapitulation: Bassins versants***

Région	*Nombre de glaciers*				
	Réseau 1)	*Echantillon* 2)	*en crue* 3)	*Classes stationnaires*	*en décrue* 4)
Rhône (II)	52	36	4	-	32
Aare (Ia)	21	18	-	-	18
Reuss (Ib)	11	2	-	-	2
Linth/Limmat (Ic)	6	0	-	-	-
Rhin/ Bodan (Id)	11	5	-	-	5
Inn (V)	7	7	-	-	7
Adda (IV)	5	4	1	-	3
Tessin (III)	8	7	1	-	6
Total	121	79	6	-	73

1 Ci-après, les glaciers sont cités par leur numéro (1-121) du tabl. 3.3. Leur répartition sur les bassins versants (I-V) est indiquée dans le tabl. 3.3 et dans la fig. 3.2. 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: 6, 8, 9, 12, 13, 16, 29-32, 41, 44-46, 55, 66-74, 77-81, 83-85, 88, 91, 104, 107, 108, 112-116.
3 Glaciers en crue: 15, 35, 38, 40, 101, 105.
4 Glaciers en décrue: 1-5, 7, 10, 11, 14, 17-28, 33, 34, 36, 37, 39, 42, 43, 47-54, 56-65, 75, 76, 82, 86, 87, 89, 90, 92-100, 102, 103, 106, 109-111, 117-120, 121.

Abbildung 3.1: **Gletscherbeobachtungsnetz 1992**

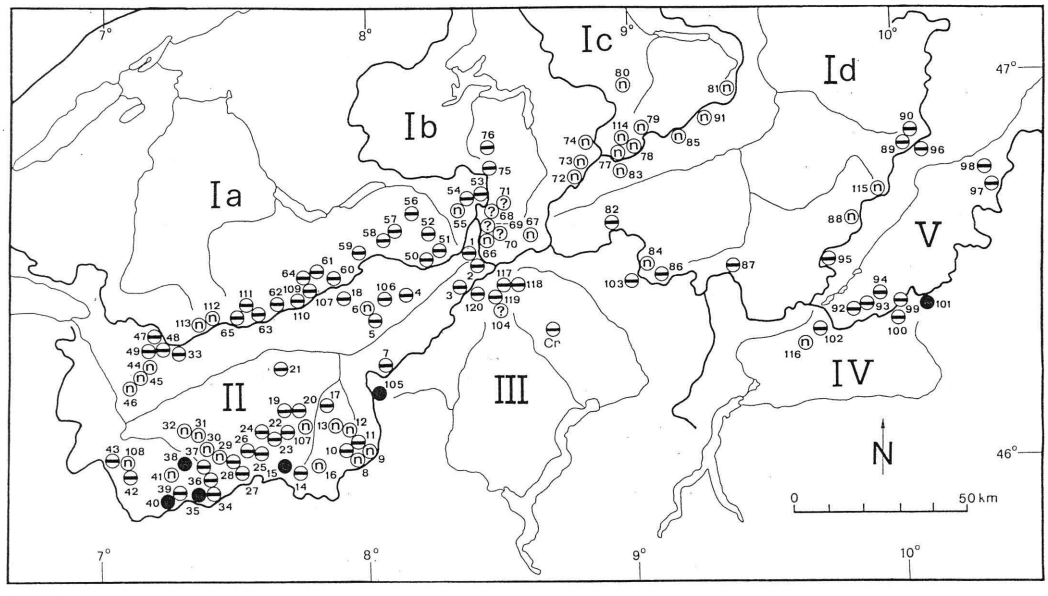
Längenänderungen 1992



Legende:
1-121: Beobachtungsnetz (Tab. 3.1+3.3) Al-VR: andere Gletscher (Tab. 2.1) I-V: Einzugsgebiete (Tab. 3.3)
● Vorstoss ⊙ stationär ⊖ Rückzug ⑦ unbestimmt (eingeschneit) ⓝ nicht beobachtet

Figure 3.2: ***Réseau d'observations glaciaires 1993***

Variations de longueur 1993

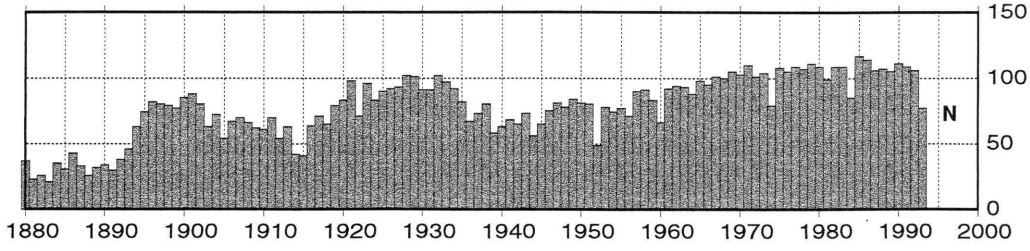


Légende:
1-121: *Réseau d'observations (tabl. 3.2+3.3)* I-VU: *autres glaciers (tabl. 2.1)* I-V: *bassins versants (tabl. 3.3)*
● *avance* ⊙ *stationnaire* ⊖ *décrue* ⑦ *indéfini (sous la neige)* ⓝ *non observé*

Abbildung 3.3: **Längenänderung - Statistik 1880-1993**
Figure 3.3: ***Variations de longueur - Statistique 1880-1993***

a) Stichproben - *Echantillons*

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



b) Anteile der wachsenden, stationären und schwindenden Gletscher
Parts relatives des glaciers en crue, stationnaires ou en décrue

wachsend *en crue* | stationär *stationnaire* | schwindend *en décrue*

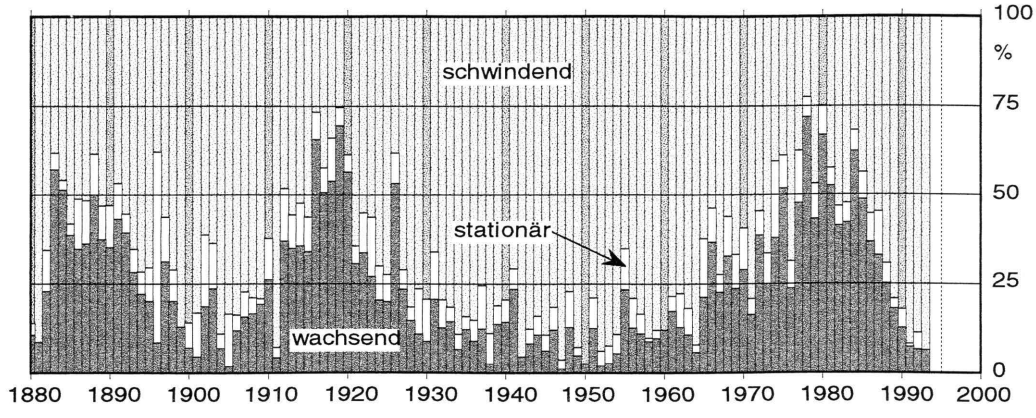


Tabelle 3.3: **Längenänderung 1991/92 und 1992/93**
*Tableau 3.3: **Variations de longueur 1991/92 et 1992/93***

Nr.[a]	Gletscher	Kt. [b]	Längenänderung [c] [m] 1991/92	1992/93	Höhe [d] [m ü.M.] 1993	Messdatum [Tag, Monat] 1989	1992	1993
Einzugsgebiet der Rhone - *Bassin du Rhône* (II)								
1	Rhone	VS	- 10	- 12	2169 92	10.08.	22.08.	4.09.
2	Mutt	VS	- 7	- x	2242 92	10.08.	23.08.	1.09.
3 [e]	Gries	VS	- 18.2	- x	2384.8 92	10.09.	18.09.	1.09.
4 [e]	Fiescher	VS	+ 7.4	- 16.4	1675.4	8.09.	11.09.	31.07.
5 [e]	Grosser Aletsch	VS	- 18	- 25.8	1550.9	20.08.	18.09.	21.09.
106 [e]	Mittelaletsch	VS	- 8	- x	2283.5 92	5.09.	18.09.	21.09.
6	Oberaletsch	VS	n	n	2143.5 92	n	n	n
7 [e]	Kaltwasser	VS	+ 0.6	- x	2660 92	11.09.	17.09.	1.09.
8 [e]	Tälliboden	VS	- 2.3	n	2631.0 92	1.10.	1.10.	n
9 [e]	Ofental	VS	- 42.2 [2a]	n	2692.6 92	1.10.	1.10.	n
10	Schwarzberg	VS	- 5.0	- x	2651.7 92	11.09.	18.09.	20.10.
11	Allalin	VS	- 63.0	- 20	2311.8	11.09.	18.09.	20.10.
12 [e]	Kessjen	VS	+11.6	n	2871.6 92	3.10.	30.09.	n
13 [e]	Fee (Nord)	VS	- 5 ca.	n	1920.3 92	10.09.	28.09.	n
14 [e]	Gorner	VS	- 64.0 [3a]	- 12	2106.9 92	20.10.	24.09.	10.10.
15	Zmutt	VS	- 2	+ 2	2242	12.08.	24.08.	3.09.
16 [e]	Findelen	VS	- 22.3	n	2483.9 92	4.09.	18.09.	n
107 [e]	Bis	VS	- x	n		28.08.	18.09.	n
17	Ried	VS	- 12.3	- x	2058.6 92	30.09.	24.09.	20.10.
18	Lang	VS	- 2.5	- 7	2034	16.10.	16.10.	10.11.
19 [e]	Turtmann	VS	+ 2.5	- 11.7	2262	18.09.	24.09.	18.09.
20	Brunegg (Turtmann Ost)	VS	- 2.7	- 3.6	2451	18.09.	2.10	18.09.
21 [e]	Bella Tola	VS	- 0.5	- 5.4		11.09.	9.10.	22.09.
22 [e]	Zinal	VS	- 30 ca.	- 7	2030	27.09.	8.10.	19.10.
23	Moming	VS	- 29.5	- 80.5	2395	27.09.	8.10.	19.10.
24	Moiry	VS	- 4.2	- 2	2390 83	9.10.	9.10.	25.09.
25	Ferpècle	VS	- 7.8	- 6.9	2095 83	4.10.	17.10.	17.10.
26	Mont Miné	VS	- 4.7	- 6.6	1963 83	4.10.	17.10.	17.10.
27	Arolla (Mont Collon)	VS	- 10.4	- 14.6	2135 83	5.10.	17.10.	8.10.
28	Tsidjiore Nouve	VS	- 7.6	- 6.4	2205 83	5.10.	17.10.	8.10.
29	Cheillon	VS	- 60	n	2630 83	23.10.	13.10.	n
30 [e]	En Darrey	VS	- 8 [2a]	n	2490 83	23.10.	13.10.	n
31	Grand Désert	VS	- 7.4	n	2760	25.09.	20.09.	n
32	Mont Fort (Tortin)	VS	- 8.4	n	2780	3.10.	15.10.	n
33	Tsanfleuron	VS	n	- 6 [2a]	2417 69	25.09.	n	2.09.
34 [e]	Otemma	VS	- 13.3	- 40.3	2460	18.09.	30.09.	20.09.
35 [e]	Mont Durand	VS	+ 6	+ 20	2340	19.09.	1.10.	20.09.
36 [e]	Breney	VS	- 23.5	- 27.2	2575	18.09.	30.09.	19.09.
37 [e]	Giétro	VS	- x	- x	2480 ca.	28.08.	9.09.	20.10.
38 [e]	Corbassière	VS	- 14	+ 9	2169	12.09.	5.11.	2.09.

a-e Bemerkungen zu den Fussnoten und Legende der Abkürzungen siehe Seite 60.
Remarques ou notes explicatives et légende des abréviations voir page 60.

Tabelle 3.3: **Fortsetzung 1** *Tableau 3.3:* ***Continuation 1***

No.[a] *Glacier*	*Ct.*[b]	*Variation de longueur*[c] [m] 1991/92	1992/93	*Altitude*[d] [m s.m.] 1993	*Date des mesures [jour, mois]* 1989	1992	1993
39 e Valsorey	VS	- 19.0	- 9.0	2395.4	11.10.	9.10.	12.08.
40 Tseudet	VS	- 22.3	+ 15.5	2436.7	11.10.	9.10.	12.08.
41 e Boveyre	VS	- 37.1	n	2611.7 92	11.10	8.10.	n
42 Saleina	VS	- 9.8	- 5.5	1701.5	16.10.	6.11.	30.09.
108 Orny	VS	n	n		n	n	n
43 e Trient	VS	- 15	- x	1754 92	8.10.	7.11.	20.10.
44 e Paneyrosse	VD	+ 0.4	n		19.09.	14.10.	n
45 e Grand Plan Névé	VD	- 0.3	n		20.09.	13.10.	n
46 e Martinets	VD	- x 6a	n		n	25.09.	n
47 e Sex Rouge	VD	- x	- x		24.09.	16.08.	19.09.
48 e Prapio	VD	- 10	- 5 ca.		26.10.	25.10.	24.10.
49 e Pierredar	VD	- x	- x		6.09.	25.09.	18.08.
Einzugsgebiet der Aare - *Bassin de l'Aar* (Ia):							
50 e Oberaar	BE	- 18.1	- 3.2	2300.0	22.08.	16.09.	17.08.
51 e Unteraar	BE	- 29.6	- 37.2	1930.5	22.08.	16.09.	17.08.
52 e Gauli	BE	- 21	- 9	2150	19.09.	30.09.	19.10.
53 Stein	BE	- 7	- 6	1934	21.09.	25.09.	15.10.
54 e Steinlimmi	BE	- 11	- 10	2094	21.09.	25.09.	15.10.
55 e Trift (Gadmen)	BE	- x	n	1670 80	22.08.	16.09.	n
56 e Rosenlaui	BE	- x	- x	1860 ca.	6.09.	18.09.	18.08.
57 e Oberer Grindelwald	BE	- 50	- 60		19.10.	14.10.	16.10.
58 e Unterer Grindelwald	BE	- x	- x		21.09.	14.10.	16.10.
59 e Eiger	BE	- 15.9	- 17.3	2115 83	24.09.	17.09.	24.09.
60 e Tschingel	BE	- 3.8	- 2.0	2265 84	25.09.	18.09.	23.09.
61 Gamchi	BE	- 6.4	- 12.0	1990	5.09.	15.09.	11.10.
109 e Alpetli	BE	- 9.2	- 6.4	2250	12.09.	16.09.	20.09.
110 e Lötschberg	BE	- x 3a	- x		n	21.08.	12.08.
62 e Schwarz	VS	- 2.5	- 10.5	2230 91	5.10.	18.09.	17.09.
63 e Lämmern	VS	- 7.8	- 6.0	2522	1.10.	19.09.	18.09.
64 Blümlisalp	BE	- 5.8	- 17.4	2240	24.09.	17.09.	17.09.
111 e Ammerten	BE	- 3.7	- 1.2	2350 ca.	22.10.	27.10.	6.10.
65 e Rätzli	BE	- x	- 56 2a	2460	9.10.	18.09.	19.10.
112 Dungel	BE	n	n		n	n	n
113 Gelten	BE	n	n		n	n	n
Einzugsgebiet der Reuss - *Bassin de la Reuss* (Ib):							
66 e Tiefen	UR	- 6.8	n	2500 88	17.09.	18.09.	n
67 e Sankt Anna	UR	- 4.9	n	2580 91	17.09.	18.09.	n
68 e Kehlen	UR	- 12.2	n	2078 89	11.09.	9.10.	n
69 Rotfirn (Nord)	UR	- 12.0	n	2031 89	11.09.	9.10.	n
70 e Damma	UR	- 8.9	n	2044 64	11.09.	9.10.	n
71 Wallenbur	UR	n	n		9.10.	n	n
72 Brunni	UR	n	n		n	n	n
73 e Hüfi	UR	- 26.4 2a	n	1640 92	n	9.10.	n
74 e Griess	UR	- 2.4	n	2219 92	4.10.	9.10.	n
75 e Firnalpeli (Ost)	OW	- 14.5 2a	- x	2165 92	n	17.09.	18.08.
76 e Griessen	OW	- 8.6 2a	- 2.3	2460 92 ca.	n	20.08.	20.08.

Tabelle 3.3: **Fortsetzung 2** *Tableau 3.3:* ***Continuation 2***

Nr.[a]	Gletscher	Kt. [b]	Längenänderung [c] [m] 1991/92	1992/93	Höhe [d] [m ü.M.] 1993	Messdatum [Tag, Monat] 1989	1992	1993
Einzugsgebiet der Linth/Limmat - *Bassin de la Linth/Limmat* (Ic):								
77	Biferten	GL	n	n	1901.2 91	14.08.	n	n
78 [e]	Limmern	GL	- 2.0	n	2260 92	25.09.	17.09.	n
114 [e]	Plattalva	GL	+ 0.6	n	2565 92	25.09.	16.09.	n
79 [e]	Sulz	GL	- 4.6	n	1785 92	26.10.	30.09.	n
80	Glärnisch	GL	n	n	2291.6 91	27.08.	n	n
81 [e]	Pizol	SG	+ 5.2	n	2600 92	26.09.	26.09.	n
Einzugsgebiet des Rheins/Bodensee - Bassin *du Rhin/Bodan* (Id):								
82 [e]	Lavaz	GR	n	-386 4a	2340	n	n	21.09.
83	Punteglias	GR	- x	n	2365 91	4.10.		n
84 [e]	Lenta	GR	- 92.2 2a	n	2310 92	n	21.09.	n
85 [e]	Vorab	GR	- 19.0	n		4.09.	30.09.	n
86 [e]	Paradies	GR	-704.5 [f]	- 1.4	2672.5	18.09.	7.09.	20.09.
87 [e]	Suretta	GR	- 43.3	- 38	2219.5	11.09.	12.09.	16.09.
115	Scaletta	GR	n	n		20.08.	n	n
88 [e]	Porchabella	GR	- 10.2	n	2640.4 92	26.09.	24.09.	n
89 [e]	Verstankla	GR	- 9.5	- x	2390 92	28.08.	27.08.	2.09.
90 [e]	Silvretta	GR	- 13.2	- 14.3	2441.6	30.08.	16.09.	2.09.
91 [e]	Sardona	SG	- 7.6	n	2500 92	18.09.	25.09.	n
Einzugsgebiet des Inns - *Bassin de l'Inn* (V):								
92 [e]	Roseg	GR	- 11.5	- 46.6	2159	13.08.	25.09.	13.10.
93 [e]	Tschierva	GR	- 19.4	- 21.1	2144	13.08.	25.09.	13.10.
94 [e]	Morteratsch	GR	- 6.4	- 24.1	2031	10.10.	30.09.	4.10.
95 [e]	Calderas	GR	- 8.5	- 7.8	2732	1.10.	6.10.	26.08.
96 [e]	Tiatscha	GR	- 13	- 2	2500	5.10.	15.10.	13.10.
97 [e]	Sesvenna	GR	- 5.0	- 5.5	2760	31.08.	24.08.	13.08.
98 [e]	Lischana	GR	- 7.3	- 1.6	2750	17.08.	27.09.	14.08.
Einzugsgebiet der Adda - *Bassin de l'Adda* (IV):								
99 [e]	Cambrena	GR	- 11.9	- x	2520 92	4.10.	16.09.	5.10.
100 [e]	Palü	GR	- 7.2	- 7.0	2330	29.10.	27.10.	29.09.
101 [e]	Paradisino (Campo)	GR	+ 2.8	+ 3.5	2825	14.09.	12.09.	12.09.
102 [e]	Forno	GR	- 21.6	- 16.2	2225	10.10.	30.09.	10.11.
116	Albigna	GR	n	n	2163 91	16.08.	n	n
Einzugsgebiet des Tessins - *Bassin du Tessin* (III):								
120 [e]	Corno	TI	- 13.1	- x	2570 92	30.08.	18.09.	1.09.
117 [e]	Valleggia	TI	- 10	- 6.0	2425	25.09.	16.09.	21.09.
118 [e]	Val Torta	TI	n	- 1.5 2a	2540	6.09.	15.10.	31.08.
103 [e]	Bresciana	TI	n	- 16.9 2a	2735	24.09.	26.10.	20.09.
119 [e]	Cavagnoli	TI	- 21.3	- x	2590 92	11.09.	17.09.	1.09.
104 [e]	Basodino	TI	- 3.3	n	2522.4 92	10.09.	15.10.	n
121 [e]	Croslina	TI	n	- 7.7 2a	2680	18.09.	26.10.	2.09.
105 [e]	Rossboden	VS	+ 9.6	+ 2.4	1950	11.09.	17.09.	18.11.

Tabelle 3.3: **Legende und Bemerkungen** *Tableau 3.3: **Légende et remarques***

Abkürzungen		*Abréviations*	
+	im Vorstoss	+	*en crue*
st	stationär	st	*stationnaire*
-	im Rückzug	-	*en décrue*
ca.	ungefährer Wert	ca.	*valeur approximative*
x	Betrag nicht bestimmt	x	*valeur non déterminée*
n	nicht beobachtet	n	*non observé*

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

a Identifikationsnummer der Gletscher im Beobachtungsnetz (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 (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 angezeigt: + 87 ^{4a} = Vorstoss um 87 m in 4 Jahren.
Si la valeur indiquée est valable pour un intervalle de plusieurs années, le nombre d'années est indiqué: + 87 ^{4a} = avance de 87 mètres en 4 ans.

d Ist die verzeichnete Höhenkote des Gletscherendes oder des Gletschertors nicht im Jahr 1993 gemessen, ist das Jahr der Messung angegeben: 2326.2 ^{80} = 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 1993, l'année de la mesure est indiquée: 2326.2 ^{80} = cote 2326.2 m, déterminée en 1980.

e Siehe Kapitel 3.4: Bemerkungen zu einzelnen Gletschern.
Voir chapître 3.4: Remarques concernant des glaciers individuels.

f Die Verbindung zwischen dem unteren und oberen Gletscherteil ist durchgeschmolzen, daher ergibt sich der grosse Schwundbetrag. Näheres dazu in den Bemerkungen in Kapitel 3.4. - *La liaison entre le haut et le bas du glacier n'existe plus, ce qui explique cette nette décrue. Ample détails se trouvent dans chapître 3.4.*

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).

3 Gries (Ägina)

1992: Vermessungsflug V+D am 18.09.92, ausgewertet durch W. Nobs am Autographen der VAW. Die Abbruchwand am Zungenende ist über die ganze Breite gleichmässig zurückgegangen. Zuinnerst in den drei durch schmale Landzungen abgeteilten Buchten ist das Eis vom See noch unterschnitten. Die Abbruchkante hat sich durchwegs abgesenkt, im Durchschnitt um 3.6 m, im höchsten Punkt um 4.5 m. Für die Massenänderung, am Pegelnetz der VAW ermittelt durch M.Funk, hat sich bei nahezu vollständiger Ausaperung des Gletschers ein durchschnittlicher Eisabtrag um 102 cm ergeben. Das ist rund 1 m weniger als im Extremjahr 1990, aber fast zweieinhalbmal so viel wie im Durchschnitt der Messperiode 1961-1992 (VAW - M. Aellen).

4 Fiescher

1992: Schneelawinen haben den angelagerten schuttbedeckten Zungenlappen auf dem Ostufer verbreitert und gegen die Talmitte vorgeschoben. Am Gletschertor ist der Eisrand um 10-20 m zurückgeschmolzen (VAW - M. Aellen).

5 Grosser Aletsch

1992: Vermessungsflug L+T am 18.9.1992, ausgewertet durch W. Nobs am Autographen der VAW. Der Gletscher endet nun rund 200 m oberhalb der Massaschlucht, die er 1983 noch überbrückt hat (VAW - M. Aellen).

7 Kaltwasser

1992: Auf der ganzen Breite des Zungenendes ist ein geringer Längenzuwachs festzustellen, der bei allen 3 Messpunkten weniger als 1 m beträgt (0.3 - 0.9 m). Die Gletscheroberfläche erscheint weisser und sauberer als im Vorjahr (M. Borter).

8 Tälliboden

1992: Da der Gletscher völlig ausgeapert war, hat seine Masse abgenommen. Trotzdem ist der Zungenrand auf der linken Seite um einige Meter vorgestossen, im Durchschnitt über die ganze Breite jedoch erwartungsgemäss zurückgeschmolzen (VAW - W. Schmid).

9 Ofental

1992: Das dünne Eisfeld hat die Wärme der beiden letzten Sommer überdauert. Am Zungenende ist es nur noch 1-2 m dick (VAW - W. Schmid).

12 Kessjen

1992: Da der Gletscher völlig ausgeapert war, hat seine Masse abgenommen. Trotzdem ist sein Zungenende vorgestossen (hauptsächlich auf der linken Seite: bis 20 m) oder stationär geblieben (VAW - W. Schmid).

13 Fee

1992: Ein visueller Vergleich der Luftbilder vom 18.09.1992 mit denen der Vorjahre zeigt das Zungenende nahezu auf dem Stand vom Herbst 1986. Inzwischen ist es - von Jahr zu Jahr weniger - bis im Frühjahr 1989 um etwa 50 m weiter vorgerückt und seitdem ebensoweit wieder zurückgeschmolzen. Die hoch aufgewölbte bogenförmige Zungenstirn hat sich vom Sommer 1979 an zunehmend abgeflacht und auf beiden Seiten eingebuchtet, vor allem beim Gletschertor an der Nordflanke. Die grobblockige Bergsturzmasse, die im August 1954 die Gletscherzunge auf rund 520 m Länge, das Vorgelände auf etwa 200 m Länge verschüttet hatte, ist durch dauerndes Vorstossen des Gletschers von 1956 bis 1989 rund 620 m weit mit Eis überführt worden (VAW - M. Aellen).

14 Gorner

1992: Der neue Fixpunkt GL 23 ist rund 470 m gletscherwärts des alten Fixpunkts GL 22 eingerichtet und mit einem demontierbaren Stahlrohrstativ ausgerüstet (VAW - W. Schmid). - Seit meiner ersten Messung, im Juni 1982, ist das Zungenende auf der Messlinie, die am rechten Uferhang etwas oberhalb der Talsohle liegt, um 143.5 m zurückgeschmolzen, etwas weiter als auf dem linken Ufer (Y. Biner).

1993: Das schlechte Wetter des Sommers hat vermutlich den Rückzug des Gletschers etwas gebremst. Dank des neu eingerichteten Fixpunktes ist die Vermessung nun einfach (Y. Biner).

16 Findelen

1992: Vermessungsflug V+D am 18.9.1992, ausgewertet durch W. Nobs am Autographen der VAW. In der Tabelle ist die Höhenkote des tiefstgelegenen Punktes am Zungenende eingetragen, das Gletschertor liegt auf Kote 2487 m. Die Längenänderung ist auf den normalerweise terrestrisch vermessenen Strecken aus dem Zungenplan abgegriffen (VAW - M. Aellen).

19 Turtmann

1992: Die 4 Messlinien sind durch neue Basispunkte rund 4060 m vor dem Zungenende versichert und durch Ingenieur Peter Tscherrig, Raron, mittels Theodolit eingemessen worden (A. Tscherrig).

21 Bella Tola

1992: Infolge des 30 cm tiefen Neuschnees waren die Messverhältnisse ungünstig. Durch die Verdickung des Gletscherrands ist der enorme Schwund der vergangenen Jahre abgeschwächt worden (A. Tscherrig).

1993: Sehr gute Messverhältnisse. Die Bestimmung des Gletscherrandes wird immer schwieriger, so muss in Erwägung gezogen werden, ob die Punkte 1 und 2 für eine künftige Messung zu versetzen sind. Vor dem Eisrand des Punktes 5 lag eine grosse Menge Firnschnee (A. Tscherrig).

22 Zinal

1992: A la suite d'un éboulement important, la partie frontale se trouve désormais complètement isolée du reste du glacier. Il a fallu mettre en place de nouveaux témoins de mesurage situés à environ 350 m au sud des précédents. Pour cette raison, nous n'avons pas des mesures exactes, mais des estimations qui indiquent un recul d'environ 30 m (M. Barmaz).

30 En Darrey

1992: Les points 1 et 2 sont toujours recouverts par le névé. Le point 3 recouvert en 1991 est le seul visible à une distance de 12 m du front glaciaire (M. Cotter).

34 Otemma

1992: Le front du glacier s'est peu modifié depuis 1991. La mensuration au point 10/88 est devenue aléatoire, le terrain étant difficile et dangereux (moraine très raide de blocs instables). Dans cette ligne de visée, un nouveau point 11/92 a été installé plus près du glacier. Faute de temps, sa distance du glacier n'a pas été relevée. Sur la rive gauche, un nouveau point 12/92 a été établi, le 14 octobre, par J.-J. Chabloz (J.-L. Blanc).

1993: Les conditions pour effectuer les relevés etait parfaites. La partie centrale du glacier s'est fortement creusée, laissant en place des cônes de glace couverts de sable et de gravier. On a balisé un nouveau point 14/93 au front rive gauche. La glace de ce front est étonnament friable et un émissaire de la Drance sort très fort d'ici. On a mesuré le point 11/92, mais cette valeur n'est pas très fiable, car le bord droit est trop tangent (J.-J. Chabloz).

35 Mont Durand

1992: Le glacier est toujours en crue, bien qu'atténuée par rapport à l'an dernier. Au centre du front, à gauche du portail, le glacier a repoussé devant lui les débris morainiques et la glace commence à recouvrir le rognon rocheux qui porte le repère 6/88. Ce point devra être abandonné, si l'avance se poursuit (J.-L. Blanc).

1993: Les conditions pour effectuer les relevés etait parfaites. La crue continue et maintenant le front se déporte vers la rive gauche, ce qui explique la grande avance de 20 m. On a remis en service le point 4/85 qui, malgré une visée un peu angulaire, donne le point exact du front du glacier. Le portail d'où jaillit le torrent s'est effondré, il est maintenant très important (J.-J. Chabloz).

36 Breney

1992: Le recul moyen est fortement influencé par le recul de 110 m mesuré au point 12/76, la ligne de visée étant tangentielle au glacier. En réalité, celui-ci est stationnaire ou en léger recul. Un nouveau point 20/92 a été établi en remplacement du 12/76. Le grand lac situé devant le front en 1991 a disparu. L'émissaire principal s'est déplacé vers la droite et sort du glacier par un portail surbaissé à l'extrémité du lobe droit (J.-L. Blanc).

1993: Les conditions pour effectuer les relevés etait parfaites. Sur la rive droite l'émissaire principal s'est déporté à l'extrême bord droit de la langue glacière qui est entièrement recouverte de débris morainiques issus de la jonction du glacier de Breney et du glacier de la Serpentine. Rive gauche, un nouvel émissaire sort de la langue glacière. Entre les deux, un lac sans alimentation ni écoulement apparents s'est formé. Pour remplacer le point 12/76, un nouveau point face au front droite est en

préparation. Le point 17/83 est assez difficile a mesurer car le glacier est recouvert de blocs rocheux (J.-J. Chabloz).

37 Giétro

1992: Die Gletscherzunge hat in allen Teilen deutlich abgenommen. Die seitlichen Ränder sind abgeflacht und stark zurückgeschmolzen, die Abbruchwand am Zungenende hat sich zurückgebildet. Im vordersten Zungenbereich ist der Gletscher noch etwas grösser als beim Minimalstand von 1964, in den rückwärtigen Teilen etwa gleich gross wie damals. Die Vermessungsaufnahmen, wetterbedingt auf die terrestrische Vermessung des Pegelnetzes im Zungengebiet beschränkt, ergaben durchwegs sowohl bei der Eisdicke wie bei der Fliessgeschwindigkeit eine beträchtliche Abnahme, die jedoch deutlich geringer war als die vorjährige (VAW - M. Aellen).

38 Corbassière

1992: Il semble que l'ensemble du front du glacier a subi une forte réduction du volume. A la langue glaciaire, une crevasse parallèle à l'écoulement du glacier est en train de se former. Lors des préparations pour entreprendre les mesures, le 7 septembre, la neige est venue. Depuis, elle n'a plus fondu sur le glacier et faute de retrouver les pierres de l'année passée, il n'a pas été possible de mesurer les profils (Ch. Wuilloud).

Profil *Profil*	Höhe *Altitude*	Mittlere Fliessgeschwindigkeit *Vitesse moyenne du mouvement*	
		1989/91	1991/93
	[m s.m.]	[m/an]	[m/an]
Tsessette	2500	27.2	26.0
Panossière	2660	34.0	34.9

39 Valsorey

1993: La mesure de référence est pris depuis le point B. Le lac glaciaire en extension devant le point A rend la mesure difficile (O. Guex).

41 Boveyre

1992: Un nouveau point de mesure a été établi en direction de la cavité frontale (O. Guex).

43 Trient

1992: Les mesures - rendues difficiles par 50 cm de neige très irrégulière - ne sont que partielles et peu précises. La valeur indiquée de 15 m n'est qu'un minimum, car le recul sur la rive gauche, non mesuré, semble être plus fort (P. Mercier).

44 Paneyrosse

1992: Le front du glacier est resté stable par rapport aux mesures 1991. Les résidus du manteau neigeux de l'hiver 1991/92 ont persisté, produisant à nouveau des névés (J.-P. Marlétaz).

45 Grand Plan Névé

1992: Front stable. Résidus (névés) de l'hiver 1991/92 (J.-P. Marlétaz).

46 Martinets

1992: Die Luftbilder vom 25.9.1992 zeigen den abgeflachten Rand der Gletscherzunge deutlich abgesetzt von der frischen Vorstossmoräne, die auf den Aufnahmen vom 11.9.1986 am Fuss der steilen Randböschung der damals aufgewölbten Zunge noch kaum in Erscheinung tritt (VAW - M.Aellen).

47 Sex Rouge

1992: Une première visite, le 21 juin, ne nous a pas permis de voir si le glacier, recouvert de neige, avait reculé, mais il semblait bien que c'était le cas. Le 16 août, nouvelle visite et demisurprise: le glacier n'existait plus aux points de mesure. Seuls deux névés de faible épaisseur subsistaient, mais sans glace (J.-P. Besençon).

1993: La situation globale inchangée par rapport à 1992. Le glacier n'existe plus aux points de mesure. Un des deux névés resté n'existe plus (J.-P. Besençon).

48 Prapio

1992: Recul net du front, où la glace est très mince (J.-P. Besençon).

1993: Pas de mesure exacte a cause de la neige fraîche récente. Situation stabilisée, couche de glace mince comme en 1992 (J.-P. Besençon).

49 Pierredar

1992: Der Vergleich der Luftbilder vom 25.9.1992 mit den Vorjahresaufnahmen zeigt keine grossen Veränderungen. Die regenerierte schuttbedeckte Zunge ist erneut zurückgeschmolzen (VAW - M.Aellen).

50 Oberaar

1992: Vermessungsflug V+D am 16.9.1992, ausgewertet durch Büro Flotron, Meiringen, im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli. In der Messperiode hat die Gletscherfläche am Zungenende um 4000 m^2 abgenommen. Der Zungenrand, im Mittel unverändert auf Höhenkote 2300 m gelegen, war infolge des Pumpspeicherbetriebs im Stausee vom August 1991 bis im Frühling 1992 öfters 1-2 m tief eingestaut. Am Aufnahmedatum war die Eiswand am Zungenende über die ganze Breite praktisch senkrecht. Im mittleren und südlichen Teil ist sie recht gleichmässig um 12-18 m zurückgegangen. Auf der Nordseite ist sie auf einer Breite von 40 m durch einen Eisabbruch bis 80 m weit zurückversetzt worden. Aus dem digitalen Höhenmodell ergab sich eine Volumenabnahme um

1'151'000 m^3 vom Zungenende bis zum Querprofil 15 und um 4'047'000 m^3 vom Zungenende bis zum Profil 17 (A. Flotron).

1993: Vermessungsflug am 17.8.1993 für KWO, ausgewertet durch Flotron. Die Gletscherzunge hat in der Messperiode von 335 Tagen eine Eisfläche von 700 m^2 verloren. Der Zungenrand liegt im Mittel auf 2300.0 m Höhe. Er wurde, bedingt durch den Pumpspeicherbetrieb, vom August 1992 bis im Frühjahr 1993 öfters um 1-2 m eingestaut. Über den mittleren und rechtseitigen Teil der Zunge geschah der Rückzug recht gleichmässig, auf der linken Zungenseite ist über eine Breite von 30 m ein Rückgang des Gletscherrandes um maximal 20 m festzustellen. Zum Zeitpunkt der Aufnahme war die Eiswand über die ganze Zungenbreite praktisch senkrecht, ihre Höhe beträgt noch ca. 10 m. Die Volumendifferenz wurde aus dem digitalen Höhenmodell bis zum Querprofil 15 berechnet. Sie wurde für den Zungenbereich nicht mehr separat ermittelt (A. Flotron).

51 Unteraar

1992: Vermessungsflug und Auswertung wie Oberaar. Der Gletscher hat am Zungenende eine Fläche von 14'200 m^2 verloren. Der grösste Rückzug ist am nördlichen Gletscherrand festzustellen, wo er am südexponierten Eissporn bis 35 m beträgt. Im mittleren Teil ist das Zungenende wenig abgeschmolzen, ausser im Bereich des Gletschertors (bis 20 m). Auf der Südseite ist der Gletscherrand in zwei Zonen (50 bzw. 100 m breit), wo relativ dünne flache Eisschichten wegschmolzen, stärker zurückgegangen als auf den übrigen Strecken (etwa 300 m), wo er ziemlieh stabil blieb (A.Flotron).

1993: Vermessungsflug und Auswertung wie Oberaar. Im Berichtsjahr hat der Gletscher im Zungengebiet eine Fläche von 17'700 m^2 verloren. Der mittlere Rückzug von 37.2 m ist extrem gross. Er wurde nur im Berichtsjahr 1989/90 übertroffen und ist etwa doppelt so gross wie der langjährige Mittelwert. Dieser grosse Rückzug ist weniger durch eine allgemeine Abschmelzung der ganzen Gletscherfront als durch die nachstehend beschriebenen, eher lokal beschränkten Veränderungen bedingt:

- Der moränenbedeckte Eiskegel, ca. 200 m vom linken Gletscherrand entfernt, ist nicht mehr als aktives Gletschereis zu bezeichnen, er bildet ein Toteisrelikt vor dem Gletscher. Damit hat sich der Zungenrand über eine Breite von 60 m um etwa 50 m zurückgezogen.
- Die Eiskalotte über dem Gletschertor ist über eine grosse Fläche eingestürzt. Dies verursacht eine Verlagerung des Zungenrandes gletscheraufwärts bis zu 120 m über eine Breite von etwa 100 m.
- Am rechten Hangfuss wurde das Gletscherende neu definiert, indem der Eckpunkt um ca. 90 m gletscheraufwärts verschoben wurde in eine Zone, die noch eindeutig aus aktivem Gletschereis besteht (A. Flotron).

52 Gauli

1992: Zwischen den Koordinatenpunkten 659.32/162.76 und 659.46/162.54 ist die Gletscherstirn ganz von Wasser umgeben. Bei der Messstelle ist das Seelein etwa 15 m breit (R. Straub).

54 Steinlimmi

1993: Die Gletscherzunge ist stark abgeflacht und dünn geworden. Weiter oben sind Lücken im Gletscher (R. Straub).

55 Trift (Gadmen)

1992: Auf den Luftbildern vom 16.9.1992 erscheint das Zungenende in der Schlucht kürzer und flacher als auf den Vorjahresaufnahmen (VAW - M. Aellen).

56 Rosenlaui

1992: Der Vergleich der Luftbilder vom 18.9.1992 mit den Vorjahresaufnahmen zeigt, dass die Zunge im Talgrund kürzer, die Stirnwand auf den Felsbuckeln niedriger und flacher geworden ist (VAW - M. Aellen).

57 Oberer Grindelwald

1993: Der Gletscher machte einen grossen "Sprung" rückwärts, so dass ein neuer Fixpunkt (FP 93) markiert und vermessen (im Jahre 1992) werden musste (H. Boss).

58 Unterer Grindelwald

1992: Das Andauern des Schwunds ist ersichtlich aus den Luftbildern vom 21.8.1991 und 21.8.1992 wie auch aus den Standardansichten, die H. Boss sen. am 21.9.1991 und H. Boss jun. am 14.10.1992 im Gelände aufgenommen haben (VAW - M. Aellen).

59 Eiger

1992: Der Gletscher ist allgemein und besonders im Zungenbereich deutlich zurückgegangen. Sein Rand ist wenig mächtig und abgeflacht, ausser im Bereich des Gletschertors, wo die Eisdecke stark unterhöhlt ist. Einzelne vorgelagerte Eisschollen sind abgetrennt worden durch die Schmelzung. Die Messpunkte x und 5 mussten aufgegeben werden. Punkt F (unter dem Gletscher) ist durch Einmessen rekonstruiert worden (R. Zumstein).

1993: Massiver Rückgang auf der ganzen Breite. Einzig auf der rechten Seite wich der Gletscher beim felsnahen Punkt B nur um 3.5 m. Im allgemeinen ist der Gletscher flach und wirkt gerundet. Das sehr schlechte Wetter erlaubte das Nachfärben der Punkte und ein Einmessen des Gletschertores nicht (R. Zumstein).

60 Tschingel

1992: Der Gletscher hat sich auf der ganzen Breite zurückgezogen, die Eisdicke hat ebenfalls abgenommen. Der Längenschwund (25 m) bei Punkt K ist im Mittelwert nicht eingerechnet, da die Messlinie den Gletscherrand schleifend erreicht (R. Zumstein).

1993: Der Gletscher präsentiert sich gerundet mit wenigen Rissen und Löchern. An 5 der 6 Messpunkte ist der Gletscher zurückgeschmolzen, die Eismächtigkeit hat weiter abgenommen (R.Zumstein).

62 Schwarz

1992: Am Gletschertor bei Punkt e ist das Zungenende in einzelne Blöcke zerfallen. Ein neues Tor bildet sich etwa 60 m hinter dem alten. Für die Längenänderung nicht in Betracht gezogen ist der

Schwund um etwa 119 m bei Punkt c, der vermutlich aufgegeben werden muss, weil die Messung wegen starker Schuttüberdeckung nur noch näherungsweise möglich ist und die Messlinie den Gletscherrand nicht mehr am Zungenende, sondern rund 90 m daneben an der linken Flanke erreicht. Der neue Punkt f ist auf einer Felsplatte 43 m vor dem Zungenende markiert, um dessen Veränderung künftig besser zu erfassen (U. Vogt).

1993: Punkt c wurde fallen gelassen, weil der Gletscherrand infolge starker Überschuttung nicht mehr feststellbar ist. Als Ersatz wurde Punkt g neu auf einem Felsband markiert. Das Zungenende besteht aus einem ca. 20 mal 50 m grossen vorgelagerten Firnfeld, das voraussichtlich rasch abschmelzen wird (U. Vogt).

63 Lämmern

1992: Bei Punkt c' ist der Hilfspunkt (c'+80) um 14 m vorverlegt und auf einer Geländekante neu markiert worden (c'+94). Auf dieser Messlinie liegt ein kleiner Eisabbruch am Zungenende an der Stelle, wo sich auch ein kleines Gletschertor geöffnet hat (U. Vogt).

1993: Das Zungenende ist sehr stark abgeflacht. Die Wasserführung der Gletscherbäche ist auffallend gering im Vergleich zu früheren Jahren (U. Vogt).

65 Rätzli

1992: Die Luftbilder vom 18.9.1992 zeigen den Gletscher grösstenteils ausgeapert und mit abgeflachtem Zungenende, was auf unvermindert andauernden Schwund hinweist (VAW - M. Aellen).

66 Tiefen

1992: Die Messlinie ab Punkt B, die nordseits am Gletscher vorbeizielt, ist verlegt worden zu den neu eingemessenen Blöcken 92 und 93. Der östliche Arm des Tiefenbachs, der im Messbereich aus dem Gletscher hervortritt, führt merklich weniger Wasser als in früheren Jahren. Das Gebiet scheint sich vermehrt über den westlichen Arm (W Punkt 2595, Chräiennest) zu entwässern (J. Marx).

67 Sankt Anna

1992: Der Messunkt 93 ist neu eingerichtet als Ersatz für die Punkte GL 76 und 86, wo die Messlinien in zunehmend spitzem Winkel auf den Gletscherrand auftreffen und bei weiterem Rückgang östlich daran vorbeizielen werden (J. Marx).

68 Kehlen

1992: Bedingt durch den massiven Rückgang und den Einsturz des Torgewölbes, hat sich das Gletschertor nordwärts verlagert (J. Marx / P. Kläger).

70 Damma

1992: Die Vorstossperiode scheint auch hier vorbei zu sein: der Gletscher ist auf beiden Messlinien zurückgegangen (um 15.4 bzw. 2.4 m). Um die künftigen Messungen zu vereinfachen, ist gletscherseits des frischen Stirnmoränenwalls Punkt 92 neu eingerichtet worden (J. Marx / P. Kläger).

73 Hüfi

1992: Seit 1990 ist das Zungenende am schattigen Südrand um 7 m vorgestossen. Im sonnigen nördlichen Bereich dagegen hat erheblicher Schwund stattgefunden, sowohl in der Länge (am Nordrand um 23, in der Mitte bis 62 m), als auch in der Dicke (J. Marx / E. Arnold).

74 Griess (Unterschächen)

1992: Der Messpunkt 93 ist neu eingerichtet. Die neuen Messdistanzen sind rund 120 m kürzer als die alten ab Punkt 73 (J. Marx / B. Annen).

75 Firnalpeli (Ost)

1992: Der Schwund seit 1990 ist sehr markant bei den Punkten 1 und 7 (rund 32 bzw. 27 m). Bei Punkt 2 hat sich der kleine See entleert, der Zungenrand ist vorgerückt (um rund 5 m). Ein kleiner See ist bei Punkt 5 neu entstanden (R. Imfeld).

76 Griessen (Obwalden)

1992: Das Zungenende ist seit 1990 ziemlich gleichmässig zurückgegangen, am meisten bei Punkt 2 (rund 26 m), am wenigsten bei Punkt 1 (4 m). Mit dem Rückgang der Zunge ist auch ein markanter Volumenverlust des Gletschers verbunden (R. Imfeld).

1993: Der Gletscher hat sich seit der letzten Messung im Jahre 1992 nur unwesentlich zurückgebildet; Grund dafür dürften der nasskalte Frühling und Sommer 1993 gewesen sein. Südwestlich der Messpunkte hat sich ein kleiner See gebildet (R. Imfeld).

78 Limmern

1992: Der Gletscherrand ist bei den Punkten 1 bis 3 durch mächtige Schuttschichten überdeckt und darum schwierig zu erkennen. Der beginnende Rückzug zeichnet sich jedoch deutlich ab, vor allem im Bereich nahe der Forschungshütte, wo sich die Oberfläche in den letzten zwei Jahren um 2-3 m abgesenkt hat. Die Neuschneegrenze lag am Messdatum auf etwa 2500 m Höhe unterhalb der Firngrenze, die im Sommer 1992 jedoch weniger hoch gestiegen war als im Herbst 1991 (U. Steinegger).

79 Sulz

1992: Der Gletscher ist vor allem auf den Seiten zurückgegangen, seine Schuttüberdeckung hat eher abgenommen. Ein grosser Eisabbruch hat das Gletschertor zugeschüttet (Th. Rageth).

81 Pizol

1992: Durch die samstägliche Touristenflut wurden immer wieder Steinschläge auf den Gletscher ausgelöst, was die Messungen zeitweise abenteuerlich machte. Die Gletscheroberfläche wies eine leichte Schneedecke, aber noch hohe Schmelzaktivität auf. Die Messungen von der im Vorjahr reaktivierten Basislinie C ergaben bei 4 Punkten (1, 2, 4, 6) einen Vorstoss (um 24.5, 19.5, 6.5 bzw. 1.0m), bei den übrigen (3 und 5) einen Rückzug (um 1.0 bzw. 17.5 m). Bei den Punkten 5 und 6 ist der Eisrand stark mit Geröll überführt und deshalb schlecht auffindbar (A. Hartmann).

82 Lavaz

1993: Infolge des starken Rückganges des Gletschers muss nächstes Jahr eine neue Basislinie abgesteckt werden (A. Sialm).

84 Lenta

1992: In den letzten zwei Jahren ist der Gletscherrand auf allen 3 Messlinien stark zurückgeschmolzen, augenfällig auf der Ostseite, wo auf Messlinie D ein Rückzug von 219 m zu verzeichnen ist (B. Parolini).

85 Vorab

1992: Der Gletscher war leicht schneebedeckt, für die Messung nicht in idealem Zustand. Starker Rückgang am Ostrand hat den Gletscher auf Messlinie L verschwinden lassen. Die Basislinie muss für Messungen im nächsten Jahr verlegt werden wegen zu grosser Messdistanzen (R. Danuser).

86 Paradies

1992: Die Verbindung zwischen dem unteren und dem oberen Gletscherteil ist durchgeschmolzen. Die Messung am unteren, zu Toteis gewordenen Teil wird nicht mehr fortgesetzt. Der Gesamtbetrag des Rückzugs setzt sich zusammen aus der Paralleldistanz zwischen unterem und oberem Tor im Herbst 1991 (624 m) und aus dem mittleren Schwund 1991/92 des oberen Zungenteils (80.5 m). Mit dem starken Rückgang geht auch ein riesiger Massenverlust einher. Das untere Tor liegt auf Kote 2406.7 m, das obere auf Kote 2681 m (O. Hugentobler).

1993: Die geringe Flächenverminderung des Zungenendes täuscht über den sehr grossen Massenverlust hinweg. Der Punkt GL 181 A wurde neu mit Farbe markiert, ebenso der Gletscherrand auf der Westseite des Zungenendes. Die Toteisreste im früheren Messbereich sind sehr stark weggeschmolzen (O. Hugentobler).

87 Suretta

1992: Neben der Verminderung der Gletscheroberfläche (um rund 0.6 ha) war im Berichtsjahr wiederum auch ein grosser Massenverlust festzustellen (O. Hugentobler).

1993: Die Gletschermasse ist ausserordentlich stark zurückgegangen. Sofern das Zungenende nicht mit Lawinenschnee genährt wird, zeichnet sich eine Abtrennung rund 200 m höher als das bisherige Zungenende ab (O. Hugentobler).

88 Porchabella

1992: Die Messungen konnten wiederum bei einwandfreien Verhältnissen durchgeführt werden. Unsicherheiten beim Festlegen des Gletscherrandes entstehen in zunehmendem Masse durch massive Materialüberlagerungen im Bereich der Moränen im westlichen Teil. Verschiedene Schmelzwasserrinnen verursachten zusätzlichen Eisabtrag vor allem im Bereich des Gletschertors und der übrigen Wasseraustrittstellen. Abgesehen davon, waren die Rückzugswerte über die ganze Zungenbreite ungefähr gleich. Trotz schneereichem Winter 1991/92 war die Massenabnahme auch in diesem Sommer ausserordentlich gross, was sich wie 1991 aus verschiedenen Anzeichen (Spalten im

oberen Teil des Gletschers, Wasserführung der Bäche am Zungenende) schliessen lässt (Chr. Barandun / F. Juvalta).

89 Verstankla

1992: Ein ziemlich strenger Winter mit sehr starken Schneefällen brachte dem Gletscher reichlichen Zuwachs, der sich im Frühling kaum verminderte, da es kühl und nass blieb bis Mitte Juli. In der tropischen Wärme des Hochsommers schmolz der Winterschnee weg bis auf kleine Reste zuhinterst auf dem Gletscher. Auch die Eisdecke hat erneut stark abgenommen, was vor allem beim Gletschertor oberhalb des Felsrückens erkennbar ist. Bei schönem, leicht windigem, aber warmem Wetter ist die Gletscherzunge bei allen 4 Messpunkten - die mühelos aufzufinden waren - eingemessen worden. Bei allen Punkten ist sie deutlich (um 5 bis 22 m) zurückgeschmolzen. Am Gletschertor auf der Felskuppe fällt der Eisrand allmählich in sich zusammen, der Wasseraustritt verschiebt sich ostwärts und erstreckt sich annähernd über die ganze Breite des Felsrückens. Im südlichen Zungenbereich, wo sich immer mehr und teils grobblockiges Moränenmaterial ansammelt, kann der Verlauf des Gletscherrandes nicht mehr festgestellt werden (J. Stahel).

90 Silvretta

1992: Vermessungsflug V+D am 16.9.1992, ausgewertet durch W. Nobs am Autographen der VAW. Dabei hat sich gezeigt, dass der Gletscherrand auf der Vorjahresaufnahme streckenweise zu weit bergwärts eingetragen, der Betrag der mittleren Längenänderung dementsprechend zu reduzieren ist (von 18.8 auf 9.2 m). Die Messungen am Pegelnetz der VAW, ebenfalls am 16.9.1992 durch M. Funk und W. Schmid ausgeführt, ergaben für das Nährgebiet einen Flächenanteil von rund 17 %, für die Gleichgewichtslinie eine mittlere Höhe von 2942 m und für die Massenänderung einen durchschnittlichen Eisabtrag von 86 cm. Mit diesen Werten erweist sich das Berichtsjahr (nach 1964, 1973, 1991 und 1963) als fünftgrösstes Massenschwundjahr der Messperiode 1959-1992 (VAW - M. Aellen).

91 Sardona

1992: Der Gletscher wies am Messdatum eine leichte Schneedecke, aber noch starken Wasserabfluss auf. Der Zungenrand war überall gut zu erkennen, ausser bei Punkt 2, wo der alte (verschüttete oder abgerutschte) Messpunkt wie in den letzten Jahren nicht auffindbar ist. In diesem Bereich scheint die Aktivität des Gletschers im Ablagern von Moränenschutt jedoch nachzulassen, weshalb ein neuer Messpunkt 2neu festgelegt und auch der seit 1990 benützte Punkt 3neu mit Farbe markiert worden ist. Da die beiden Punkte nicht eingemessen sind, sollten sie allenfalls vor einem Vermessungsflug signalisiert werden. Der vormals hoch aufragende Gletscherrand im Bereich der Punkte 1 bis 3 hat sich wiederum merklich abgeflacht, grosse abgelöste Eisschollen sind kaum mehr vorhanden und die grosse Einsackung (zwischen 2neu und 3neu) scheint sich vertieft zu haben. Abgesehen vom geringen Vorstoss bei Punkt 3neu (um 2.3 m), ergab die Messung an allen Punkten einen Rückzug (um 2.4 - 3.7 m bei Punkt 1-5, um 31.5 m bei Punkt 6). Bei den Punkten 1 bis 4 besteht der Gletscherrand aus Eis, bei 5 und 6 aus Firn (A. Hartmann).

92 Roseg

1992: Am linken Zungenrand hat sich erneut eine grosse schuttbedeckte Eisscholle abgetrennt. Am Gletschertor ist die Stirnwand stark unterschmolzen, im See schwimmen zahlreiche Eisschollen. Viele Längsspalten am Zungenende erschweren das Messen (G. Bott).

1993: Am linken Zungenrand ist ein weiteres Eis- Geröllpaket abgeschmolzen. In der Zungenmitte ist eine grosse Einbuchtung entstanden. Am rechten Zungenrand ist eine grosse Eismasse geschmolzen. Viele Eisschollen schwimmen im See (G. Bott).

93 Tschierva

1992: Die Schmelzwasserrinne am Gletschertor hat grossen Eisabtrag bewirkt, die Mächtigkeit der Gletscherzunge hat weiter abgenommen. Von einem Holzstück, das auf der Westseite etwa 40 m neben dem Gletschertor auf Höhenkote 2142 m zum Vorschein kam, ist das ^{14}C Alter bestimmt worden. Die Messung ergab das Alter von 6130 ± 40 Jahren BP! Die für die Altersbestimmung erforderliche Präparation, die Aufbereitung und Datierung des Probenmaterials erfolgten im Radiocarbonlabor des Physikalischen Institutes der Universität Bern, unter der Leitung von Prof. H.H. Loosli (G. Bott).

1993: Die Dicke der Gletscherzunge hat wieder stark abgenommen. Auf der linken Zungenseite ist eine neue oberflächliche Wasserrinne und ein kleines Gletschertor entstanden. Die Abschmelzung ist stark. Es wurde erneut ein Stück Holz gefunden. Die Länge ist ca. 100 cm, der Durchmesser 20cm (G. Bott).

94 Morteratsch

1992: Das Zungenende ist an zwei Stellen eingebrochen. Die vier kleinen, im Vorjahr entstandenen Seen sind verschwunden. Der grosse Gletscherbach ist zu Fuss nicht mehr passierbar, sonst waren die Messbedingungen ideal (G. Bott).

1993: Der Abbruch des Jahres 1992 ist abgeschmolzen. Nur vereinzelte Eisresten sind übriggeblieben. Der grosse Gletscherbach ist wieder verschwunden. Am rechten Zungenrand ist ein neues Gletschertor entstanden. Die Messbedingungen waren ideal (G. Bott).

95 Calderas

1992: Neuschnee (30 cm) erschwerte den Zugang zum Gletscher. Am rechten Zungenrand hat sich ein neues Gletschertor geöffnet. Eine tief eingeschnittene Wasserrinne ist am Zungenrand durchgeschmolzen (G. Bott).

1993: Sieben oberflächliche Wasserrinnen und zwei neue Gletschertore weisen auf einen grossen Schmelzprozess hin. Das Toteis von 1992 ist wieder geschmolzen. Der neue Fixpunkt von 1992 wurde eingemessen (G. Bott).

96 Tiatscha

1992: Rückgang und Abflachung des ganzen Gletschers dauern an: der Berggrat zwischen Fuorcla da Cunfin und Piz Buin wird am Horizont immer mehr sichtbar (J. Könz).

1993: Leichter Rückgang und Abflachung des ganzen Gletschers (J. Könz).

97 Sesvenna

1992: Wiederum stellten wir einen bedeutenden Rückzug des unteren Gletscherrandes fest. Der Durchschnittswert von 5 m ergibt sich aus Messwerten zwischen 0.3 und 7.6 m, die von Punkt 1 zu

Punkt 6 nahezu regelmässig zunehmen. Die westlichen Felspartien sind bereits fast vollständig eisfrei, der östliche Zungenteil dürfte bei Messlinie 6 im Laufe der nächsten Jahre abschmelzen (L.Rauch).

1993: Als Folge der warmen Witterung während einer kurzen Zeitspanne im Hochsommer war der untere Gletscherrand bereits früh schneefrei. Der mittlere Rückzug erreicht einen Wert von 5.5 m. Auffallend ist die starke Abschmelzung im Bereich der Messlinie Nr. 5. Der östliche Gletscherabschnitt hat stark an Mächtigkeit verloren und dürfte im Verlaufe der nächsten Jahre ganz wegschmelzen (L. Rauch).

98 Lischana

1992: Die Mächtigkeit des Gletschers hat wiederum stark abgenommen. Überall waren oberflächliche, während des warmen Sommers entstandene Längsrinnen sichtbar. Der mittlere Teil des Gletschervorfelds, im Bereich der Messlinie 4, ist mit Moränenmaterial überdeckt. Der Rückzug am Zungenende beträgt im Durchschnitt 7.3 m, in der Mitte bis 11.4 m, an den Rändern 3.3 bzw. 4.7 m. Die obere eisfreie Zone wird immer breiter (L. Rauch).

1993: Bereits im Monat August war der letztjährige Schnee weggeschmolzen und der untere Gletscherrand gut sichtbar. Der mittlere Rückzug beträgt lediglich 1.6 m. Dieser verhältnismässig geringe Rückzug dürfte nur von kurzer Dauer sein. Wiederum stellen wir eine weitere starke Abnahme der Mächtigkeit des Gletschers fest. Der oberste eisfreie Gürtel wird immer breiter. Die Eismassen gegen den "Vadret da Rims" sind praktisch verschwunden (L. Rauch).

99 Cambrena

1992: Die Topographie am Zungenende hat sich seit 1991 stark verändert: der Zungenlappen beim Gletschertor ist abgeschmolzen, das Tälchen auf der linken Seite des Bachs aufgefüllt. Der Felssporn ist ohne Schwierigkeit zu erreichen, da die Zunge flacher geworden und nur noch von wenigen Randpalten durchzogen ist (A. Godenzi).

1993: Wegen zuviel Neuschnees war es nicht möglich, die Gletscherstirn einzumessen. Der Abbruch hat sich gegenüber 1991 stark verändert. Die Zunge hat sich weiter zurückgezogen. Die Spalten zeigen ein anderes Bild. Es sieht so aus, wie wenn sich der Gletscher weiter zurückgezogen hat (A. Godenzi).

100 Palü

1992: Tempo bello, ghiacciaio in parte coperto di neve. All'altitudine di ca. 2600 m, la parte bassa del ghiacciaio si separa lentamente dalla parte superiore (G. Berchier).

1993: Tempo bello, ghiacciaio coperto di neve (G. Berchier).

101 Paradisino ("Vedreit da Camp")

1992: Der Gletscher ist am Zungenende mit Firnschnee bedeckt, sonst grösstenteils aper. Die ausserordentlich dünne Zunge liegt im Schattenbereich des Corno di Campo. Am 6. Juli hat es im Val di Campo ausgiebig geschneit, bis Mitte Juli war kaltes und schlechtes Wetter (A. Godenzi).

1993: (Corno di Campo). Der Gletscher ist auch dieses Jahr am Zungenende mit Firnschnee bedeckt. Es ist nicht klar, wo genau das Ende des Gletschers liegt. Gemessen wurde das Firnende. Die Zunge ist noch dünner geworden. Der Sommer in Poschiavo war regnerisch und kalt (A. Godenzi).

102 Forno

1993: Früher Schneefall und schlechte Witterung verhinderte eine rechtzeitige Messung anfangs Oktober. Die Messung erfolgte schliesslich mit ca. 30 cm Neuschnee (C. Mengelt).

103 Bresciana

1992: Le condizioni climatiche avverse durante il periodo autumnale e la presenza di neve (ca. 50cm) non hanno permesso di rilevare il fronte del ghiacciaio. Rilievo fotografico effettuato il 26.10.1992 (C. Valeggia).

1993: Quest'anno abbiamo misurato tutto il suo fronte, la lingua si è appiattita notevolmente e sulle fasce laterali si intravvedono sporgenze di roccia ed è possibile in un futuro alcune spaccature con un notevole ritiro (C. Valeggia).

104 Basodino

1992: Le condizioni climatiche avverse durante il periodo autumnale e la presenza di neve (ca. 50cm) non hanno permesso di rilevare il fronte del ghiacciaio. Rilievo fotografico effettuato il 15.10.1992 (C. Valeggia). - Vermessungsflug V+D am 18.9.1991 und 18.9.1992 ausgewertet durch H. Bösch am Autographen der VAW. Die Längenänderung ist auf den normalerweise terrestrisch vermessenen Strecken aus dem Zungenplan abgegriffen (VAW - M. Aellen).

105 Rossboden

1992: Die Situation am Zungenende hat sich nicht verändert, die Längenänderung ist an den 3 bisherigen Punkten ermittelt. Die Stirn der schuttbedeckten Zunge ist auf der Ostseite (bei Punkt 5) um 8 m, auf der Westseite (Punkt 4) um 11 m vorgerückt, in der Mitte (Punkt 2) stationär geblieben. Es muss ein neuer Fixpunkt eingerichtet werden (M. Borter / O. Dorsaz).

106 Mittelaletsch

1992: Vermessungsflug L+T am 18.9.1992, ausgewertet durch W. Nobs am Autographen der VAW. Die steile Eiswand am Zungenende ist auf der ganzen Breite ziemlich gleichmässig zurückgeschmolzen. Seit 1970 hat sich das Gletschertor um 300 m bergwärts verlagert. Sein Abstand vom unteren, talwärts verschobenen Tor am Rand des Grossen Aletschgletschers hat sich inzwischen von 40 auf 600 m vergrössert (VAW - M. Aellen).

107 Bis

1992: Die Luftbilder vom 18.9.1992 zeigen eindeutig, dass der Gletscher seit dem Vorjahr in der Länge und in der Dicke weiter abgenommen hat (VAW - M. Aellen).

109 Alpetli

1992: Infolge des erneuten Gletscherschwunds ist der ursprüngliche Basispunkt B unmittelbar am Eisrand erstmals seit 1984 wieder sichtbar (U. Vogt / U. Fuhrer).

1993: Der ursprüngliche Messpunkt A ist ebenfalls seit 1984 erstmals wieder ausgeapert. Alle Messpunkte sind mit gelber Farbe neu markiert worden (U. Fuhrer).

110 Lötschberg

1992: Die Luftbilder vom 21.8.1992 lassen erkennen, dass sich das Zungenende seit der Aufnahme der Luftbilder am 6.12.1989 verkürzt und abgeflacht hat (VAW - M. Aellen).

111 Ammerten

1992: Nach schneereichem Winter und spätem Sommerbeginn (um den 10. Juli) ist der Gletscher im warmen Hochsommer weniger stark abgeschmolzen als in den vorangehenden Jahren. Am Messdatum lag das Zungenende bereits wieder meterhoch unter Schnee; bei Basispunkt 1 kam ich nach mühsamem Graben in 1.7 m Tiefe auf den Felsgrund (E. Hodel).

1993: Trotz dem schlechten Sommer war aller Winterschnee weggeschmolzen, auch bei Punkt 1. Die in diesem wechselhaften Sommer immer wieder auftretenden Hitzetage und -perioden ergaben trotz reichlich Winterschnee und Kaltlufteinbrüchen im Sommer ein nahezu ausgeglichenes Jahr. Auffallend war im Vergleich zu den letzten Jahren dass etliche Wächten und Lawinenreste den Sommer überdauerten (E. Hodel).

114 Plattalva

1992: Die Messung beschränkt sich neuerdings auf 5 Punkte, da der linke Zungenteil kaum noch Eis aufweist. Im vermessenen Bereich blieb der Zungenrand seit dem letzten Jahr praktisch stationär. Auf dem vollständig mit Neuschnee bedeckten Gletscher war die Firngrenze nicht mehr auszumachen. Im neuerdings eisfreien Gebiet auf der linken Seite lag noch Lawinenschnee des letzten Winters (U. Steinegger).

117 Valleggia

1992 e 1993: La lingua del ghiacciaio termina nella vallata tra la morena di roccia e la montagna. Il suo fronte è molto ripido con una coltre di ghiaccio assai consistente. Anche qui le fotografie mostrano molto bene la sporgenza di roccia che anche quest'anno è visibile dovuta alla diminuzione dello spessore (C. Valeggia).

118 Val Torta

1992: La neve caduta durante la fine di settembre (ca. 25 cm) non ha permesso di determinare il fronte del ghiacciaio. Rilievo fotografico effettuato il 15.10.1992 (C. Valeggia).

1993: Il ghiacciaio è ricoperto in gran parte da detriti di roccia. Le fotografie annesse mostrano molto bene questa situazione, inoltre si nota alcune sporgenze di roccia sia nel ghiacciaio, come pure a valle del fronte. Il nevaio è completamente scomparso! Il fronte non così ben definito e nitido regi-

stra un arretramento di 1.5 m rispetto all'anno 1991, ed inoltre il suo spessore è diminuito notevolmente (C. Valeggia).

119 Cavagnoli

1992: Il suo spessore è diminuito notevolmente, le fotografie annesse evidenziano delle sporgenze di roccia sia sulla lingua come pure nella parte centrale del ghiacciaio e sulla sinistra. La lingua del ghiacciaio si trova sulla destra della sporgenza di roccia, le misurazioni rilevano che é regredito di 21.3 m (di 3-30 m ai punti osservati). Sulla sua sinistra il ghiacciaio termina su una morena di roccia con il pendio verso il fronte del ghiacciaio, per cui anche il suo spessore non è più notevole, ciò si è rilevato solo per vedere il suo spessore e il sio movimento (C. Valeggia).

120 Corno

1992: Trovandosi questo ghiacciaio su un pendio ripidissimo si nota come la lingua di ghiaccio spinge verso valle, comunque con questo fattore il ghiacciaio è regredito mediamente di 13.1 m. Avanti ad esso c'è uno strato di ghiaccio ricoperto da detriti; la sua forma corresponde ai rilievi precedenti (C. Valeggia).

121 Croslina (Campo Tencia)

1992: Le condizioni climatiche avverse durante il periodo autumnale e la presenza di neve (ca. 50cm) non hanno permesso di rilevare il fronte del ghiacciaio. Rilievo fotografico effettuato il 26.10.1992 (C. Valeggia).

1993: La lingua di ghiaccio è tra le rocce e termina con un nevaio - ghiacciaio ricoperto di detriti assai consistente. Il nevaio nella parte pianeggiante è scomparso formando un laghetto. Le fotografie mostrano questo avvenimento che resterà anche nei prossimi anni (il laghetto si chiama: "Laghetto del Croslina Grande"). La sporgenza di roccia nel fronte del ghiacciaio è notevolmente visibile e le misurazioni future si eseguiranno sopra la stessa (C. Valeggia).

4. BILDTEIL

4.1 BILDFOLGE 1991/92

Bilder 1 - 2: Griesgletscher (Ägina)
Aufnahmen: M. Funk, VAW.

Abbau der Kalbungsfront am Zungenende. Im September 1988 steht die Stirnwand noch durchgehend am Wasser des gefüllten Stausees (1). Sie überwölbt die Buchten zwischen den Ufern und den Geländerippen, die bei niederem Wasserstand im August 1990 gut zu sehen sind (2). Im Oktober 1992 fusst die Stirnwand, inzwischen deutlich abgeflacht, bei vollem See auf trockenem Boden.

Bilder 3 und 4: Paradiesgletscher (Rheinwaldhorn, Adula)
Aufnahmen: A. Godenzi.

Extremer Längenschwund. Die Ansicht vom 7. September 1992 zeigt in der Bildmitte die Felskante, die den Gletscher seit Jahrzehnten immer mehr eingeschnürt, im letzten Sommer vollends zerteilt hat (3). Das neue Zungenende oberhalb der Felsstufe ist 705 m weit vom vorjährigen entfernt. Der vordere Zungenteil, der nun als Toteismasse im Talgrund liegt, war am 25. September 1980 noch 900 m lang (4).

Bild 5: Vedreit da Camp (Paradisino)
Aufnahme: O. Hugentobler.

Längenzuwachs durch Firnanlagerung. Auf der Aufnahme vom 12.9.1992 ist der angelagerte Firn oder Lawinenschnee durch die hellere, weniger unebene und fast schuttfreie Oberfläche im Vordergrund abgegrenzt gegen das blanke Eis der Gletscherzunge.

Bilder 6 - 13: Glacier de Giétro
Aufnahmen: M. Aellen, VAW.

Registrierung der Gletscherbewegung. Bei hohem Gletscherstand entsteht am Zungenende eine Abbruchwand, rund 600 m über dem Seespiegel (6). Am 19. August 1978 war sie gegen 200 m breit und 50 m hoch (7). Die Bewegung des Eises im steilen vordersten Zungenbereich wird bei hohem Wasserstand im Stausee Mauvoisin (Mitte Juli bis Ende Oktober) aufgezeichnet mit einer im August 1968 eingerichteten kryokinegraphischen Messanlage. Auf einem vorbereiteten Fundament (8) ist ein Messturm mittels Helikopter (9) zentimetergenau abgesetzt und von den Kraftwerkangestellten festgeschraubt worden (10). Ein Stahlkabel wird jedes Jahr neu im Eis verankert (11) und über Umlenkrollen in den Messturm geführt, wo die Bewegung des Spanngewichts mit einem umgebauten Pegelschreiber (Limnigraphen) aufgezeichnet wird (12). Im Winter 1975 wurde der Messturm durch eine Schneelawine weggefegt. Die Registrieranlage ist seither an einem Felsüberhang aufgehängt (13), mit Blitzschutz versehen und durch ein Fernmeldesystem ergänzt. In der Zentrale Chanrion wird die Gletscherbewegung laufend aufgezeichnet und von den Wehrwärtern täglich kontrolliert.

4. ILLUSTRATIONS PHOTOGRAPHIQUES

4.1 PHOTOS 1991/92

Photos 1 - 2: Glacier de Gries (Aegina)

Clichés: M. Funk, VAW.

Disparition progressive du front de vêlage. En septembre 1988, le front du glacier est encore en contact sur toute sa largeur, avec la retenue (1). Ses voûtes surplombantes s'appuient sur les bords du lac ainsi que sur les arêtes rocheuses bien visibles lors des basses eaux d'août 1990 (2). En octobre 1992, le front, nettement plus mince qu'auparavant, se termine sur la terre ferme, au-dessus de la cote maximum du lac.

Photo 3 et 4: Glacier du Paradis (Rheinwaldhorn, Adula)

Clichés: A. Godenzi.

Retrait considérable de la langue glaciaire. La partie aval de la langue, devenue glace morte, recouvrait encore le fond de la vallée sur 900 m de longueur le 25 septembre 1980 (3). Au centre de cette vue du 7 septembre 1992, on distingue l'arête rocheuse qui a progressivement étranglé la langue du glacier depuis des décennies, la coupant définitivement en deux en août 1991. Le nouveau front se termine sur la pente au-dessus du verrou, à une distance de 705 m derrière l'ancien front de 1991 (4).

Photo 5: Vedreit da Camp (Paradisino)

Cliché: O. Hugentobler.

Langue glaciaire allongée par accumulation nivale. La vue du 12 septembre 1992 montre le dépôt de névé ou de neige d'avalanches. Sa surface claire, peu rugueuse et presque entièrement libre de débris rocheux, se détache nettement de la glace vive de la langue glaciaire.

Photos 6 - 13: Glacier de Giétro

Clichés: M. Aellen, VAW.

Enregistrement du mouvement de la glace, Lors des crues du glacier, la langue se termine par un front de rupture situé 600 m à peu près au-dessus du niveau du lac (6). Le 19 août 1978, il mesurait environ 200 m de largeur et quelques 50 m de hauteur (7). Durant le remplissage annuel de la retenue de Mauvoisin, de mi-juillet à fin octobre, le mouvement de la glace est enregistré par un appareillage cryocinégraphique, installé en août 1968 dans la partie frontale, fortement inclinée, de la langue. Cette année-là, un pylône a été déposé par hélicoptère (9), au centimètre près, sur une base préparée d'avance par les employés des forces motrices (8, 10). Chaque année, un câble en acier est tiré sur des poulies de renvoi entre un point d'ancrage dans la glace (12) et un contrepoids placé dans le pylône; son mouvement est enregistré par un limnigraphe adapté en conséquence (12). Le mât métalique a été araché par une avalanche au cours de l'hiver 1975. L'installation d'enregistrement a été reconstruite à l'abri d'un surplomb rocheux (13), pourvue d'un paratonnerre et complétée par un système de télécommunication permettant aux barragistes de suivre et de surveiller, chaque jour, le mouvement du glacier à la central de Chanrion.

4.2 BILDFOLGE 1992/93

Bilder 1 - 5: Rosenlauigletscher

Aufnahmen: Hasler & Cie, éditeurs à Bâle (1), H.J. Zumbühl (2-5).

Die Ansicht aus einem zeitgenössischen Album (1) zeigt den Gletscher kurz vor (oder nach) seinem letzten Hochstand um 1846 nahe am Eingang der Rosenlauischlucht, rund 1 km vor dem heutigen Zungenende stirnend (nach einer Vorlage von A. Winterlin, Katalog-Nr. RL 49.21/22 in Zumbühl & Holzhauser 1990). Auf den Ansichten vom 5.9.1986 (2, 3) ist der Endstand des 1980er-Vorstosses festgehalten. Die aufgewölbte, grossenteils schuttfreie Zungenstirn im Talgrund und die weit vorgeschobenen, in Séracs über die Plattenschüsse am Fuss des Wellhorns abbrechenden Eiszungen unterscheiden sich augenfällig von ihrem reduzierten, durch Schwund geprägten heutigen Zustand, der auf den Ansichten vom 6.9.1994 abgebildet ist (4, 5).

Bild 6: Vedreit da Camp (Paradisino)

Aufnahme: A. Godenzi.

Der Längenzuwachs ist wie im Vorjahr durch Anlagerung von Lawinenschnee am Zungenende zustande gekommen, was auf dem Farbbild vom 12.9.1993 deutlich erkennbar ist (deutlicher als auf der Vergleichsansicht vom 12.9.1992 im 113. Bericht).

Bilder 7 - 9: Birchgletscher

Aufnahmen: M. Funk, VAW (7, 9), B. Bellwald (8).

Trümmer eines Eisabbruches vom Fuss der Bietschhorn-Nordwand sind am 18.12.1993 bis in den Talgrund bei Blatten im Lötschental abgestürzt. Die Gesamtansicht zeigt die Sturzbahn im Februar 1990 mit den Spuren und Ablagerungen einer Schneelawine (7). Die Teilansicht vom 22.7.1994 erfasst den am Bietschhorn hängenden obersten Teil des Gletschers (8), der fast ringsum durch die Bruchflächen der Bergschründe, Randklüfte und Abbruchwände oder der Scherspalten an der Sohle der steilen Eiszunge begrenzt ist. Da von diesem Hängegletscher 'mit beschränkter Haftung' weitere Abbrüche zu erwarten sind, wird seine Bewegung erfasst durch regelmässig wiederholte elektronische Distanzmessungen (9) von einem Fixpunkt in Weissenried (unterhalb der Bildmitte) zu den hinter der Abbruchkante in den Gletscher eingepflanzten fünf Reflektoren (z.B. dem im Vordergrund).

Bilder 10 - 12: Hängegletscher am Kleinen Eiger

Aufnahmen: S. Bader (10), M. Funk, VAW (11) und M. Lüthi (12).

Eisabbrüche vom steilen Gletscher, der neben dem Kleinen Eiger an der Westflanke des Grossen Eigers hängt (10), können im Winter Schneelawinen auslösen, die gelegentlich den Bereich der Skipisten und Wanderwege bei der Bahnstation Eigergletscher erreichen. Zur Begutachtung des Gefahrenbereichs sind im Frühjahr und Sommer 1990 u.a. Bewegungsmessungen in gleicher Weise wie am Birchgletscher durchgeführt worden. Aufgrund der bis anfangs Juli festgestellten Geschwindigkeitszunahme war ein Eisabbruch um Mitte August zu erwarten; dieser hat sich am 20.8.1990 ereignet. Zur Begutachtung der Stabilität des Hängegletschers ist im Frühling 1993 durch Tiefbohrungen mittels Heisswasserstrahl (11) die Eisdicke, somit auch die Neigung des Gletscherbetts ausgelotet worden. Mit den in einzelne Bohrlöcher versenkten Messfühlern werden die Temperaturverhältnisse im Eis und deren zeitliche Veränderung erfasst. Ein Auftauen des grossenteils kalten und am Bett angefrorenen Eiskörpers könnte dessen Standfestigkeit vermindern. Oberflächliche Schneerutsche bis zur Abbruchkante lassen die Steilheit des Geländes erahnen, und verdeckte Spalten deuten weitere Schwierigkeiten und Gefahren an, die der Sicherheitsexperte bei der Feldarbeit zu bewältigen hat (12).

Bilder 13 und 14: Valleggiagletscher (Bedretto)

Aufnahmen: C. Valeggia.

Aus den vom gleichen Standort aus aufgenommenen Ansichten vom 8.9.1986 (13) und vom 21.9.1993 (14) ist das Ausmass des starken Längen- und Dickenschwundes seit dem Endstand des 1980er Vorstosses ersichtlich.

4.2 PHOTOS 1992/93

Photos 1 - 5: Glacier de Rosenlaui

Clichés: Hasler & Cie, éditeurs à Bâle (1), H.J. Zumbühl (2-5).

Cette gravure (1), tirée d'un album d'époque (dessin original de A. Winterlin, no. RL 49.21/22 du catalogue Zumbühl & Holzhauser 1990), montre le glacier de Rosenlaui peu avant ou après son stade d'extension maximum, atteint vers 1846. Son extrémité se trouvait alors près de l'entrée de la gorge, à une distance de près d'un kilomètre de la langue actuelle. Sur les vues prises le 5.9.1986 (2, 3), à la fin de sa crue récente, son front terminal bombé, situé dans le fond de la vallée, est presque libre de débris morainiques, et des lobes de glace forment des chutes de séracs sur les dalles rocheuses lisses du pied du Wellhorn. Quel contrastes avec son aspect actuel, dû à la fonte excessive de ces dernières années, et mis en évidence par les clichés (4 et 5) du 6.9.1994.

Photo 6: Vedreit da Camp (Paradisino)

Clichés: A. Godenzi.

Pendant ces deux dernières années, ce glacier s'est allongé à la suite des accumulations de neige sur l'extrémité de sa langue, ce que la photo en couleurs du 12.9.1993 met mieux en évidence que celle du 12.9.1992 (présentée dans le dernier rapport).

Photos 7 - 9: Glacier de Birch

Clichés: M. Funk, VAW (7, 9), B. Bellwald (8).

Le 18.12.1993, les débris d'une chute de glace provenant du glacier suspendu de la paroi nord du Bietschhorn, ont atteint le fond du Lötschental, près du village de Blatten. La vue générale prise en février 1990 (7) montre les dépôts d'une avalanche ayant emprunté la même trajectoire. Le 22.7.1994, la partie supérieure du glacier, pilier de glace posé dans un couloir très raide (8), est presque entièrement délimitée par des failles d'arrachement (rimayes, crevasses latérales et frontales) et des fissures cisaillant sa base. Cette masse instable étant susceptible de s'effondrer, on observe régulièrement le mouvement du glacier (9) au moyen d'un appareil électronique installé sur un point fixe à Weissenried (le hameau visible au-dessous du centre de la photo). A cet effet, on a inséré dans la glace, en amont du front de rupture, cinq repères munis chacun d'un réflecteur (on aperçoit l'un d'entre eux au premier plan).

Photos 10 - 12: Glacier suspendu du Petit Eiger

Clichés: S. Bader (10), M. Funk, VAW (11) et M. Lüthi (12).

En hiver, il arrive que des séracs de détachant du glacier suspendu situé entre le sommet du Petit Eiger et le flanc ouest de l'Eiger (10) déclenchent des avalanches, atteignant parfois les pistes de ski et les chemins de promenade aux alentours de la station ferroviaire d'Eigergletscher. Afin de mieux cerner le danger et de délimiter la zone menacée, on a effectué, entre autres choses, des mesures de vitesse analogues à celles concernant le glacier de Birch, au cours du printemps et de l'été 1990. L'accélération du mouvement observée sur le front du glacier a permis de prévoir, au début du mois de juillet, qu'une chute de glace se produirait vers la mi-août; en effet, cet événement a eu lieu le 20.8.1990. Afin d'évaluer la stabilité du glacier, on a déterminé son épaisseur et la pente de son lit par des sondages (11) réalisés au printemps 1993, au moyen d'une foreuse thermique à jet d'eau boillante. Quelques puits de forage ont été équipés de senseurs thermiques permettant d'enregistrer la température de la glace et ses variations temporelles. Un réchauffement pourrait réduire la stabilité de cette masse glaciaire froide et partiellement soudée à la roche par le gel. Les coulées de neige dévalant la pente jusqu'à la niche d'arrachement donnent une idée de la raideur du site et les crevasses cachées sous les ponts de neige (12) témoignent des difficultés et dangers que l'expert en sécurité doit affronter lors de ses travaux sur le terrain.

Photos 13 et 14: Glacier de Valleggia (Bedretto)

Clichés: C. Valeggia.

Les vues prises du même endroit le 8.9.1986 (13) et le 21.9.1993 (14) mettent en évidence la diminution de longueur et d'épaisseur de ce glacier depuis la fin de la période de crue des années 80.

1991/92

1

2

3

4

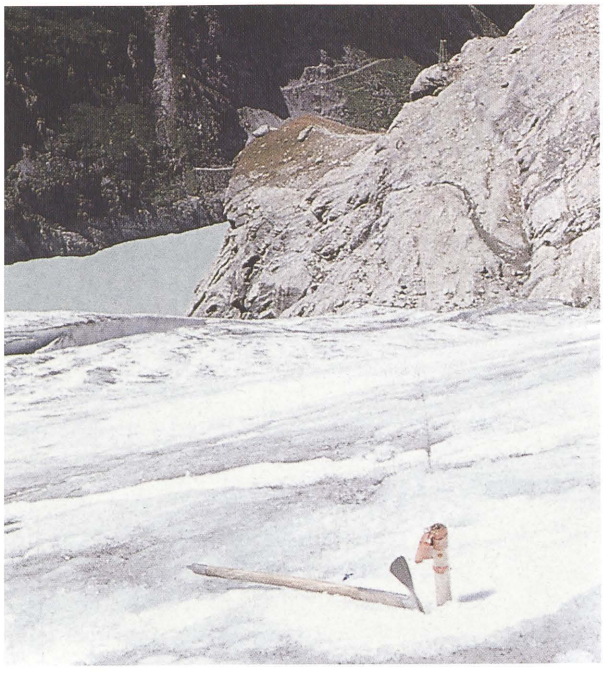
5

8

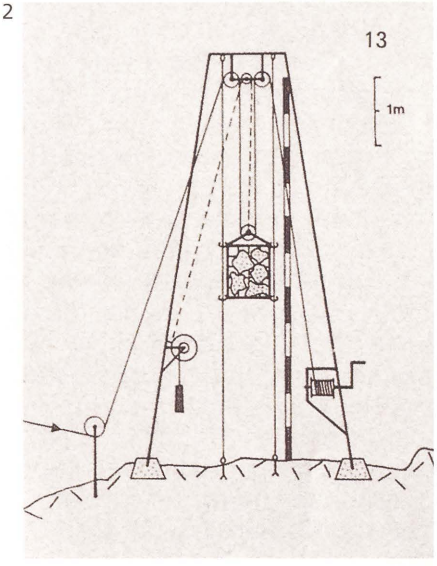
10

9

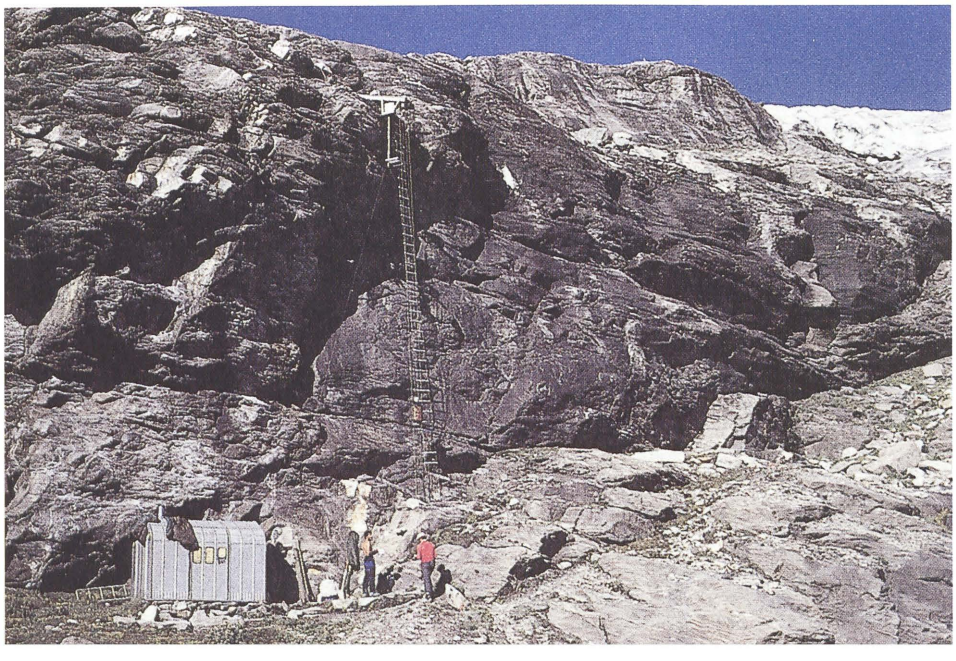
12



11

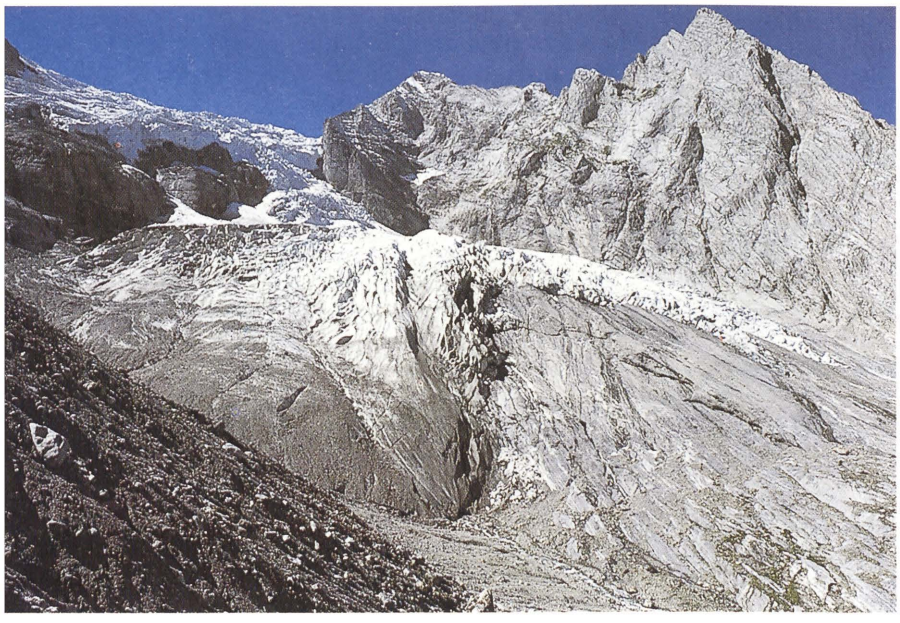


13



1992/93

1



2

3

4

5

6

7

9

10

11

12

13

14

5. MASSENHAUSHALT

5.1 EINLEITUNG

In Tabelle 5.1 sind die von der VAW für die Gletscher in 3 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 ist die Massenänderung des Aletschgletschers dargestellt. Diese stellt eine Teilgrösse des natürlichen Wasserhaushaltes der Massa dar. Dabei werden die beiden Hauptkomponenten Niederschlag und Abfluss anhand von Messungen geschätzt, um daraus unter Annahme eines invarianten Verdunstungsbetrags die Reservenänderung als weitere Hauptkomponente zu ermitteln. Andere Komponenten werden in dieser vereinfachten Haushaltsrechnung nicht in Betracht gezogen.

Für die Gletscher **Gries** und **Silvretta** ist die höhenmässige Verteilung der Massenänderung in den Haushaltsperioden 1991/92 und 1992/93 als Wasserwert der gesamten und der spezifischen Änderung in jeder Höhenstufe (Tab. 5.3 und 5.4) angegeben.

Die luftphotogrammetrisch bestimmten jährlichen Veränderungen der **Aaregletscher** (Kap. 5.4) sind in den Tabellen 5.5 und 5.6 zusammengefasst.

Kapitel 5.5 mit den Tabellen 5.7 bis 5.9 enthält die Ergebnisse der Beobachtungen, die in den Jahren 1991/92 und 1992/93 über den Firnzuwachs auf dem **Claridengletscher** und im **Engadin** gemacht worden sind. Diese Beobachtungen sind z.T. seit 1913 im Gang.

5.2 MASSENÄNDERUNG 1991/92

Im Haushaltsjahr 1991/92 hat die Gletschermasse in den Schweizer Alpen durchwegs und kräftig weiter abgenommen. Vom Herbstbeginn bis zur Sommermitte lösten sich Niederschlags- und Trockenperioden ziemlich regelmässig ab, der Massenhaushalt der Gletscher folgte dem normalen Jahresgang mit mehrfach wechselnden positiven und negativen, zumeist geringen bis mässigen Abweichungen vom termingemässen Mittelwert. Im warmen und trockenen Mai war die Schneeschmelze vorzeitig auch im Hochgebirge in Gang gekommen. Schneefälle im nasskalten Juni und anfangs Juli glichen den Abtrag immer wieder aus, bis andauernd intensives Schmelzen im trockenen und überaus warmen Hochsommer ein beträchtliches Massendefizit erzeugte. Dieses ist im September durch Schneefall am kalten Monatsanfang leicht vermindert, durch erneut kräftig einsetzendes Schmelzen um die warme Monatsmitte jedoch gleichermassen wieder vermehrt worden. Am Schluss des Haushaltsjahrs ergab sich bei allen Gletschern, deren gesamte Massenänderung als Bilanz über Zuwachs im Nährgebiet und Abtrag im Zehrgebiet (**Gries, Giétro, Silvretta**) oder als Bilanz über Niederschlag, Abfluss und Verdunstung im hydrologischen Einzugsgebiet (**Aletsch**) berechnet wird, ein starker Massenschwund. Im Aletschgebiet hat der Schwund - gemessen am Vorjahreswert - um rund 20 % zugenommen, bei den anderen Gletschern um rund 30 % abgenommen. Die Ergebnisse der Jahresbilanzen unterschieden sich im Berichtsjahr wesentlich weniger als in den Vorjahren, was wohl hauptsächlich auf die gleichmässigere Verteilung des Jahresniederschlags zurückzuführen ist. Auf allen Gletschern ist die Winterschneedecke im Hochsommer sehr rasch und weit zurückgeschmolzen, auf einigen sogar restlos verschwunden (z.B. **Kessjen, Tälliboden, Ofental**). In den niederschlagsreicheren Gebieten dagegen waren auch auf kleinen Gletschern, die in den Vorjahren vollständig ausgeapert waren, im Herbst 1992 wieder bescheidene Firnrücklagen vorhanden (z.B. **Paneirosse, Grand Plan Névé**).

Am stärksten war der Massenverlust wiederum beim **Griesgletscher**, der in der Dicke um durchschnittlich 1.0 m abgenommen hat. Dieser Dickenschwund entspricht einer Verminderung des Rauminhalts um rund 6 Millionen m^3 und ist seit 1961 in neun (von 31) Haushaltsjahren übertroffen worden. Er ist jedoch im Gegensatz zu den Vorjahren nur wenig grösser als bei den Haushaltsgletschern im zentralen und nördlichen Alpenraum. Der **Silvrettagletscher**, der im Berichtsjahr um 0.9 m dünner geworden ist, hat seit 1959 in vier (von 33) Haushaltsjahren stärker abgenommen. Mit Schwundbeträgen zwischen 1.55 und 0.95 m waren 1964, 1973 und 1992 sowie 1963 die extremen Schwundjahre dieser Messreihe. Für **Limmern** und **Plattalva** fehlen genaue Zahlenangaben für das Berichtsjahr. Beide Gletscher lagen Mitte September unter einer Neuschneedecke, die bis 2500 m und damit weit unter die Höhe der Altschneegrenze herunterreichte. Nach den Wahrnehmungen des Beobachters waren sie im Sommer wesentlich weniger stark ausgeapert als in den beiden vorangehenden Jahren. Ihr Massenschwund dürfte somit ebenfalls etwas geringer gewesen sein als im Vorjahr. Die Beobachtungen über den Firnzuwachs auf dem nahe gelegenen Claridenfirn, wo am oberen Pegel, auf 2900 m Meereshöhe, im Berichtsjahr eine 1.1 m dicke, im Vorjahr eine 0.35 m dünne Firnrücklage gemessen wurde, stützen diese Annahme.

Für die **Aletschgletscher** ist eine Verminderung der mittleren Eisdicke um 0.7 m aus der Jahresbilanz über den Wasserhaushalt im Einzugsgebiet der Massa errechnet worden. In diesem Gebiet war der Schwund im Berichtsjahr etwas stärker als im Vorjahr, etwa dreimal so stark wie im jährlichen Durchschnitt seit 1931. Im Extremjahr 1947 war der Schwund rund viermal so gross wie 1992. Diese Beobachtungsreihe mit 61 Haushaltsjahren enthält 36 Schwundjahre, in deren Mitte das Berichtsjahr an 17., das

Vorjahr an 19. Stelle vorkommen. Unter den 32 Haushaltsjahren seit 1960 ist das Berichtsjahr als fünftstärkstes Schwundjahr nach 1964, 1990, 1976 und 1971 eingereiht. Der Jahresniederschlag im Aletschgebiet wich im Berichtsjahr mit 220 cm wie im Vorjahr (224 cm) wenig vom Normalwert (217 cm) ab. Bei den übrigen Wasserhaushaltsgrössen der letzten drei Jahre ist der geringe Unterschied in den Abflussmengen ebenso bemerkenswert wie der grosse Unterschied in der Dauer der Schmelzperiode. Der nachstehende Vergleich dieser Jahre mit dem Extremjahr 1947 und dem Durchschnittsjahr der Periode 1931-1991 wie auch mit den an der SMA-Station Säntis auf 2500 m Meereshöhe ermittelten Sommertemperaturen gibt einen Hinweis auf charakteristische Unterschiede in der Beziehung der Gletscherschmelze zur massgebenden Klimagrösse der einzelnen Jahre.

	1989/90	1990/91	1991/92	1946/47	1931-91
Massa					
Abflusshöhen					
- Jahresabfluss (cm)	234	238	239	330	211
- Sommerabfluss (cm)	225	196	224	302	187
Dauer der Schmelzperiode (Tage)	153	100	147	135	126
Säntis					
Sommertemperatur (Mai-September)					
- Tagesmittel (°C)	3.9	3.9	5.3	5.7	3.4
- Gradtagsumme (°C)	624	748	830	890	613

Bemerkenswert erscheint vor allem, dass der Abfluss im Verhältnis zu den Temperaturwerten im Berichtsjahr wesentlich kleiner war als in allen Vergleichsjahren, was hauptsächlich darauf zurückzuführen sein dürfte, dass die Gletscherschmelze durch Schneefälle am Anfang und am Ende des Sommers zeitweise stark gedrosselt war. An der Dauer der Schmelzperiode gemessen, war der Abfluss in den Jahren 1990 und 1992 etwa durchschnittlich, ausnehmend gross dagegen im Vorjahr und im Extremjahr 1947, als die Schmelzwirkung der Wärme während des ganzen Sommers durch eine ungewöhnlich dichte Saharastaublage an der Gletscheroberfläche verstärkt war.

Die Angaben über Volumen- und Dickenänderungen im Zungengebiet der **Aaregletscher** stützen sich auf die Berichte über die Vermessungen 1992, die das Vermessungsbüro Flotron im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli ausgeführt hat. Die Aaregletscher haben sehr stark abgenommen, und zwar - wie die Aletschgletscher - im Jahr 1992 stärker als im Vorjahr. Im Berichtsjahr sind 38 Millionen m^3 Eis verschwunden, wobei sich die Gletscherdicke im Mittel um 1.9 m verminderte. Die grössten Schwundwerte der 23 Jahre seit 1969 waren 1990 verzeichnet worden, als das Volumen um 40 Millionen m^3, die Dicke um 2.4 m abnahm. In der Rangliste der 17 Schwundjahre dieser Periode folgen die Jahre 1992, 1971, 1991 und 1976 an zweiter bis vierter Stelle. Mit den photogrammetrischen Aufnahmen wird das Zehrgebiet auf einer Fläche von rund 20 km^2 - je nach Lage der Gleichgewichtslinie mehr oder weniger vollständig - erfasst. Aus der terrestrischen Profilvermessung in der Periode 1924-1969 ist für den flachen, unterhalb rund 2600 m gelegenen Talbereich (rund 14 km^2) in den Extremjahren 1947, 1949 und 1950 ein Volumenverlust um 40, 46 und 41 Millionen m^3 und eine mittlere Dickenabnahme um je 3.3 m berechnet worden.

Im Berichtsjahr waren die Gletscher der Schweizer Alpen durchwegs und ziemlich gleichmässig starkem Schwund unterworfen. In den meisten Regionen ausser im Aarmassiv, wo wenig Niederschlag fiel, hat die Gletschermasse weniger abgenommen als im Vorjahr. Gemessen an den klimatischen Gegebenheiten - meistenorts normaler Jahresniederschlag, überall grosse oder sehr grosse bis extreme Sommerwärme und lange Dauer der Schmelzperiode - ergab die Jahresbilanz allgemein ein gemässigtes Massendefizit. Im wechselhaften Verlauf der Witterung erfolgte der Massenzuwachs im Winter schubweise fast stets innerhalb des normalen Rahmens, wogegen der Massenabtrag, durch vorzeitigen Beginn im Frühjahr und intensive Gletscherschmelze im Hochsommer beschleunigt, den normalen Rahmen überschritt, jedoch verhältnismässig wenig, da Schneefall am Anfang und Ende des Sommers einschränkend wirkte. Infolgedessen entwickelte sich das Berichtsjahr mit einem der wärmsten Sommer dieses Jahrhunderts - ausser bei den Aaregletschern - zu einem mittelmässigen Schwundjahr statt zu einem der stärksten Schwundjahre dieses Jahrhunderts. Dennoch erhielten die Kraftwerkspeicher aus der reichlichen Gletscherspende genügend Zufluss für eine ertragreiche Nutzung der Betriebskapazitäten. In tiefergelegenen Gletscherskigebieten dagegen musste der Sommerbetrieb nach allzuraschem und vollständigem Schwinden der Schneedecke vorzeitig eingestellt werden.

5.3 MASSENÄNDERUNG 1992/93

Im Gegensatz zum Längenschwund hat sich der Massenschwund seit 1991 deutlich abgeschwächt. Aus den Beobachtungen oder Berechnungen, mit denen die Massenänderung einzelner Gletscher ermittelt wird, hat sich im Haushaltsjahr 1992/93 in allen Fällen eine nahezu ausgeglichene Bilanz ergeben. Ergiebige Schneefälle am Winteranfang und im Frühjahr, aber auch wiederholte Kälteeinbrüche in der ersten Hälfte des Sommers ergaben zeitweise überdurchschnittlichen Zuwachs, den die intensive Schmelzung in der hochsommerlichen Wärmeperiode soweit aufzehrte, dass die Gletscher bis Ende August sehr stark ausaperten. Mit den Septemberniederschlägen begann sich in den höheren Lagen eine Neuschneedecke zu bilden, die sich im Laufe des Oktobers bis unter die Waldgrenze, in der Ostschweiz vorübergehend sogar bis in die Niederungen ausbreitete.

Den Witterungsverhältnissen entsprechend verlief der vorgängig beschriebene Jahresgang im Wasserhaushalt des **Massagebiets** während der Zuwachsperiode und in der ersten Hälfte der Schwundperiode meistens innerhalb des normalen Schwankungsbereichs, aber deutlich über dem Mittelwert. Die grössten Abweichungen traten wie im Vorjahr zu Beginn und am Schluss des Bilanzjahrs auf, jedoch in gegensätzlichem Sinn. Die Abweichungen vom normalen Herbstzuwachs glichen sich jeweils im Laufe des Winters aus, indem der Rückstand im Herbst 1991 durch Starkniederschläge am 21./22. Dezember überkompensiert, das Übermass im Herbst 1992 durch Niederschlagsarmut von Mitte Dezember bis Ende März allmählich auf das Normalmass reduziert wurde. Das einzelne Ereignis im Dezember 1991 brachte dem Massagebiet mehr Niederschlag (300 mm) als die dreieinhalb Monate vom 12. Dezember 1992 bis 31. März 1993 (245 mm). Die Abweichungen am Sommerende waren massgebend für das gegensätzliche Ergebnis der Jahresbilanzen. Die überaus intensive Schmelze, die im Hochsommer 1992 auch die höchstgelegenen Firnregionen erfasste, führte zu einem erheblichen Massendefizit, obwohl sie durch Schneefall im September zunächst unterbrochen, dann vorzeitig beendet wurde. Noch früher, rund drei Wochen vor dem Normaltermin, ging die Schmelzperiode 1993 bei nahezu ausgeglichenem Stand der Jahresbilanz zu Ende. Da die Rücklagen aus dem Winter Ende August weitgehend aufgezehrt waren und in den folgenden drei Wochen Niederschlag und Abfluss sich die Waage hielten, ergab sich in der Bilanz über das hydrologische Jahr ein bescheidener Massenzuwachs erst aus den ergiebigen Niederschlägen, die in der letzten Septemberwoche vielerorts Schadenhochwasser verursachten.

Die Ergebnisse der glaziologischen Bilanzen zeigen wie die hydrologische Bilanz des Massagebiets ein deutliches Nachlassen des Schwundes in den letzten drei Jahren. Die Masse des **Griesgletschers** im Äginental nahm im Bilanzjahr 1990/91 um 149 cm Wasserwert ab, in den beiden letzten Jahren um 93 bzw. 23 cm, die Masse des **Silvrettagletschers** entsprechend um 113, 78 bzw. 5 cm. Demgemäss hat der Massenschwund im südlichen Alpengebiet zwar deutlicher nachgelassen, blieb jedoch weiterhin stärker ausgeprägt als in den zentral- und nordalpinen Regionen.

Im Zungengebiet der **Aaregletscher** sind insgesamt 10 Millionen m^3 Eis abgeschmolzen, wobei sich die Gletscherdicke im Mittel um 0.5 m verminderte.

Die luftphotogrammetrische Vermessung einzelner Querprofile im Zungengebiet des **Grossen Aletschgletschers** hat ergeben, dass sich die Gletscheroberfläche am Ausfluss des Konkordiaplatzes im Be-

richtsjahr durchschnittlich um 3.7 m und seit 1991 um rund 10 m abgesenkt hat. Fast doppelt so gross war der Dickenschwund im Profil Aletschwald (beim sogenannten Silbersand), wo die Gletscherzunge seit 1991 um rund 19 m, im Berichtsjahr um gut 7 m dünner geworden ist. An dieser Stelle, heute rund 0.3, vormals 3 km vom Zungenende entfernt, hat sich die Eisdicke seit 1880 um gut 300 m vermindert auf mindestens 50 bis höchstens 100 m.

Im Berichtsjahr hat die Gletschermasse der Schweizer Alpen trotz ausserordentlich grossem Niederschlagsangebot keinen Zuwachs erfahren. Überdurchschnittlicher Zuwachs im Winter ist durch ebensogrossen Abtrag im Sommer ausgeglichen worden, die Sommerniederschläge sind grossenteils bei hohen Temperaturen direkt abgeflossen. Die ausgeglichene Bilanz ist also bei hohen Umsatzmengen zustande gekommen. In Bezug auf den Massenhaushalt der Gletscher hat ein grosser Aufwand einen nichtigen Ertrag abgeworfen. In Bezug auf den Wasserhaushalt der vergletscherten Einzugsgebiete dagegen war das Berichtsjahr mit ergiebigem Schmelzwasserabfluss und beträchtlichem Niederschlagsabfluss ein sehr ertragsreiches Jahr für die Wasserkraftwerke, die ihre Speicherkapazitäten zum Teil bis aufs Äusserste ausnutzen mussten, um die Starkregen im September aufzufangen. Andererseits hat die starke Ausaperung wiederum den Sommerbetrieb der Skianlagen auf den tiefergelegenen Gletschern erheblich eingeschränkt.

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 3 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 indentiques.

*Le tableau 5.2 montre les variations de mass du glacier d'**Aletsch**, établis pour une partie du régime hydrologique de la Massa, qui couvre une grande partie du bassin glaciaire. 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.*

*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 1991/92 et 1992/93 dans les intervalles équidistants sont indiqués par leur valeur équivalente en eau (tabl. 5.3 et 5.4).*

*Les variations annuelles des glaciers de l'**Aar**, déterminées par restitutions aérophotogrammétriques, sont résumées dans les tableaux 5.5 et 5.6.*

*Les observations sur l'accumulation nivale au glacier de **Clariden** et dans l'**Engadine** (commencées en 1913), sont résumées dans le chapitre 5.5 (tabl. 5.7-5.9).*

5.2 BILAN DE MASSE 1991/92

*Tous les glaciers des Alpes suisses ont continué de diminuer fortement au cours de l'exercice 1991/92. Les séquences pluvieuses et sèches se sont succédé assez régulièrement du début de l'automne 1991 jusqu'au milieu de l'été suivant et le bilan de masse a évolué jusqu'à ce moment-là de manière assez normale, caractérisée par une alternance d'écarts positifs et négatifs, d'ampleur faible à modérée par rapport à la moyenne pluriannuelle. Favorisée par la chaleur et la sécheresse du mois de mai, la fonte de la neige a débuté à une date précoce à tous les niveaux, même dans les hautes Alpes. Mais cette ablation s'est annulée ensuite par les chutes de neige survenues en raison de la fraîcheur et de l'humidité de juin et du début de juillet. En revanche, le manque de pluie et les fortes chaleurs de la seconde moitié de l'été ont provoqué une fusion intense et durable, aboutissant à un considérable déficit de masse. Amoindri quelque peu par le froid et les chutes de neige du début de septembre, il a repris sa valeur antérieure à la suite de la nouvelle période de chaleur et d'active fusion du milieu de ce mois. A la fin de l'exercice, tous les glaciers dont on calcule les variations de masse en effectuant leur bilan, soit par estimation de l'accroissement dans la zone d'alimentation et de l'ablation dans celle de fusion (glaciers de **Gries**, de **Giétro** et de la **Silvretta**), soit par décompte des précipitations, de l'écoulement et de l'évaporation du bassin de réception hydrologique (glaciers d'**Aletsch**), présentent une appréciable diminution de leur masse. Par rapport aux valeurs de l'année précédente, la fonte a augmenté de 20 % pour les glaciers d'Aletsch et de 30 % pour les autres. Les résultats de cet exercice diffèrent de la moyenne pluriannuelle dans une mesure nettement moindre que ceux des bilans précédents, ce qui provient certainement de la distribution assez régulière des précipitations au cours de l'année. Durant le plein été, la couche de neige hivernale a fondu très rapidement et presque complétement sur tous les glaciers; elle a même totalement disparu sur quelquesuns (glaciers de **Kessjen**, de **Talliboden**, de la **vallée du Fuorn**, par exemple). En revanche, quelques petits glaciers des régions habituellement pluvieuses, qui s'étaient complètement débarrassés de leur manteau nival ces dernières années, conservaient quelques modestes vestiges de névés à l'automne 1992 (glaciers de **Paneyrosse** et de **Grand Plan Névé**, par exemple).*

*C'est à nouveau le glacier de **Gries** qui se signale par la plus importante perte de masse. Il présente un abaissement moyen de sa surface de 1.0 m, correspondant à une diminution de volume de 6 millions m^3. Cette valeur a été dépassée 9 fois durant les 31 années écoulées depuis 1961. En revanche, contrairement aux années précédentes, cette diminution d'épaisseur n'est guère plus importante que celle calculée pour les autres glaciers des Alpes centrales et septentrionales dont on calcule le bilan. Cette année, le glacier de la **Silvretta** s'est abaissé de 0.9 m, seuil dépassé 4 fois sur 33 depuis 1959. En effet, les valeurs maximales de cette série de mesures, comprises entre 0.95 et 1.55 m, sont survenues en 1963, 1964, 1973 et 1992. Mi-septembre, les glaciers de **Limmern** et de **Plattalva** étaient recouverts d'une couche de neige fraîche jusque vers 2500 m d'altitude, occultant la limite inférieure des restes d'ancienne neige, située nettement plus haut. Selon le rapport de l'observateur, celle-ci avait fondu durant l'été dans une mesure sensiblement plus faible que pendant les deux saisons estivales précédentes. La décrue de ces deux glaciers devrait donc être moins importante que celle de l'exercice antérieur. Cette supposition est rendue vraisemblable par l'observation de l'accroissement du névé tout proche des Clarides, où l'on a mesuré cette année, au jalon supérieur situé à 2900 m d'altitude, une épaisseur de vieille neige de 1.1m, contre 0.35 m seulement en 1991.*

*Pour cet exercice, les calculs du bilan hydrologique journalier du bassin de réception de la Massa font apparaître une diminution moyenne de 0.7 m de l'épaisseur des glaciers de la region d'**Aletsch**. Cette fusion un peu supérieure à celle de l'année précédente, s'élève au triple de la moyenne annuelle calculée depuis 1931, mais elle n'atteint que le quart du maximum absolu de 1947. Cette série de 61 bilans consécutifs comporte 36 années de décrue où l'exercice 1991/92 occupe la 17e place et celui de 1990/91 la 19e. Depuis 1960 (32 bilans), 1992 se range à la cinquième place dans les années de plus forte décrue, derrière 1964, 1990, 1976 et 1971. Les lames d'eau annuelles de ces deux derniers exercices (220 cm en 1991/92 et 224 cm en 1990/91) ne s'écartent guère de la norme de 217 cm. Parmi les autres paramètres des trois derniers bilans hydrologiques annuels, citons en particulier les faibles différences de débit d'une année à l'autre, ainsi que les notables disparités de durée des périodes de fusion. Le tableau suivant met en parallèle les valeurs de ces trois exercices, celles de 1947 et les moyennes de la période 1931-1991, ainsi que les résultats des mesures de température estivale effectuées à la station ISM du Santis (2500 m). Cette comparaison fournit un aperçu sur certaines relations entre la fusion de la glace et les caractéristiques climatiques de ces différentes années.*

	1989/90	1990/91	1991/92	1946/47	1931-91
Massa					
Mesures de débit					
- Débit annuel (cm)	234	238	239	330	211
- Débit estival (cm)	225	196	224	302	187
Durée de la période de fusion (jours)	153	100	147	135	126
Säntis					
Température estivale (mai-septembre)					
- Moyenne journalière (°C)	3.9	3.9	5.3	5.7	3.4
- Somme des degrés-jours (°C)	624	748	830	890	613

Le fait le plus marquant de ce tableau est la valeur, beaucoup plus petite cette année que lors des autres exercices, du rapport entre le débit et les données de température; il faut en rechercher la cause principale dans le fait que la fusion de la glace a été temporairement entravée par les chutes de neige du début et de la fin de l'été. Comparés à la durée de la période de fusion, les débits de 1990 et de 1992 sont assez moyens, alors qu'ils atteignaient des extrêmes en 1991 et surtout en 1947; cette année-là, un dépôt très dense de poussière saharienne avait renforcé, durant tout l'été, l'action de la chaleur solaire à la surface des glaciers.

*Les données se rapportant aux mesures de variations de volume et d'épaisseur des langues terminales des glaciers de l'**Aar** sont issues des résultats des mensurations effectuées en 1992 par le bureau d'ingénieurs Flotron à la demande de la société des forces motrices de l'Oberhasli. Les glaciers de l'Aar ont très notablement diminués et, à l'instar de ceux de la région d'Aletsch, plus fortement durant 1992 que l'année précedente. La zone soumise aux mensurations a perdu 38 millions m^3 de glace, correspondant à un abaissement moyen de la surface glaciaire de 1.9 m. Citons, à titre de comparaison, la décrue la plus spectaculaire survenue en 23 ans depuis 1969, celle de 1990, où le volume de la glace s'est réduit de 40 millions m^3 et l'épaisseur moyenne de 2.4 m. Au palmarès des 17 années de décrue de cette période, elle est suivie aux 2e, 3e et 4e rangs par les millésimes de 1992, 1971, 1991 et 1976. La photo-*

grammétrie aérienne a permis de surveiller une aire de 20 km² comprenant la presque totalité de la zone d'ablation, dont la surface varie en fonction de la position de la ligne d'équilibre. En revanche, les arpentages effectués sur le terrain le long des profils entre 1924 et 1968 ne portaient que sur les 14 km² de la section assez plate de la vallée, située au-dessous de 2600 m. Ces anciennes mesures avaient pourtant déjà mis en évidence d'extrêmes pertes de volume de 40, 46 et 41 millions m³ en 1947, 1949 et 1950, ainsi qu'une diminution moyenne d'épaisseur de 3.3 m pendant ces trois exercices.

Les glaciers des Alpes suisses ont tous subi une décrue d'une ampleur assez régulière au cours de cette dernière année hydrologique. A l'exception du massif de l'Aar où la pluviosité s'est révélée deficitaire, presque toutes les autres régions ont vu leur masse glaciaire diminuer dans une moindre mesure que durant l'exercice antérieur. Le déficit de ce bilan annuel peut être considéré comme modéré si on le met en rapport avec les conditions climatiques: pluviosité annuelle normale presque partout, chaleur estivale généralisée et forte à extrême, longue période de fonte. Les gains hivernaux ont été normaux, mais on eu lieu par à-coups, en raison de la situation météorologique changeante, tandis que les pertes, activées par le début précoce de la fusion printanière de la glace et l'intense ablation estivale, ont dépassé la norme. Toutefois, cet écart n'est pas trop considérable, grâce à l'action modératrice des chutes de neige du début et de la fin de l'été. En fin de compte, cet exercice, dont l'été est l'un des plus chauds de ce siècle, sauf sur les glaciers de l'Aar, se range dans la classe des années de décrue moyenne, au lieu d'occuper l'une des premières places parmi les bilans les plus déficitaires de ce siècle. Cependant, la fusion accélérée de la glace a alimenté en suffisance les retenues des centrales hydroélectriques, qui ont ainsi fonctionné de manière optimale selon leurs capacités respectives. En revanche, la pratique du ski d'été sur les glaciers situés à altitude assez basse a dû être prématurément suspendue, en raison de la disparition rapide et totale du manteau neigeux hivernal.

5.3 BILAN DE MASSE 1992/93

Contrastant avec le retrait continu de leurs langues, la diminution de masse des glaciers s'est nettement ralentie depuis 1991. Les observations et les calculs nécessaires à l'estimation des variations de masse de certains glaciers confirment cette tendance pour l'exercice 1992/93, faisant apparaître des bilans presque équilibrés. D'abondantes chutes de neige au début de l'hiver et au printemps, suivies de plusieurs retours du froid pendant la première moitié de l'été, ont temporairement apporté un accroissement considérable du manteau neigeux, mais l'intense ablation due à la canicule estivale l'a réduit à tel point que les glaciers étaient, fin août, presque entièrement libres de neige. La nouvelle couche nivale a commencé à se former en haute montagne avec les précipitations de septembre et elle s'est étendue, courant octobre, jusqu'au-dessous de la limite supérieure des arbres, voire jusqu'en plaine par moments, dans l'est de la Suisse.

Conformément aux conditions météorologiques, l'évolution annuelle du bilan hydrologique du ***bassin de la Massa*** *présente, en règle générale, durant toute la période d'accroissement et la moitié de celle de fusion, une amplitude normale, mais nettement centrée au-dessus de la moyenne. A l'instar de l'année précédente, les plus fortes oscillations se sont produites au début et à la fin de l'exercice, mais dans un sens opposé. En effet, alors que le déficit de l'automne 1991 était plus que rattrapé par les violentes précipitations des 21 et 22 décembre, le surplus de l'automne suivant était ramené au voisinage de la norme par le déficit pluviométrique creusé entre mi-décembre 1992 et fin mars 1993. Si la compensation des écarts automnaux s'est réalisée dans les deux cas au cours de l'hiver ultérieur, elle s'est matérialisée, pour le premier exercice, en une seule fois en décembre 1991, tandis qu'elle s'est étendue sur trois mois et demi pour le second. Le bassin de la Massa a reçu, en effet, lors de l'épisode pluvieux de décembre 1991 (300m), une lame d'eau supérieure à celle cumulée entre le 12 décembre 1992 et le 31 mars 1993 (245m). Quant aux variations de bilan de la fin de l'été, elles expliquent de manière déterminante les résultats finals opposés des deux exercices. Bien qu'elle ait été interrompue par des chutes de neige en septembre et qu'elle se soit ensuite terminée précocement, l'ablation extrêmement active du gros de l'été 1992, s'attaquant même aux névés les plus élevés, a provoqué un appréciable déficit de masse. En 1993, en revanche, la fusion a cessé encore plus tôt, avec trois semaines d'avance sur le délai habituel, de sorte que cet exercice présente un bilan annuel presque équilibré, dû à l'épuisement quasi total des réserves hivernales à la fin d'août et à la balance réalisée entre pluviosité et écoulement durant les trois premières semaines de septembre. Le modeste accroissement de masse du bilan de l'année hydrologique ne se justifie que par les violentes pluies de la dernière semaine de ce même mois, responsables de plusieurs inondations catastrophiques.*

De même que le bilan hydrologique du bassin de la Massa, les résultats de ces bilans glaciologiques montrent un net ralentissement de la décrue pendant ces trois dernières années. La masse du glacier de ***Gries****, dans la vallée d'Aegina, par exemple, a diminué d'une valeur en eau de 149 cm pendant l'exercice de 1990/91, et de 93 et 23 cm pendant les deux suivants. Quant à celle du glacier de la* ***Silvretta****, ses pertes sont de 113, 78 et 5 cm. La décrue s'est donc plus fortement ralentie sur la portion méridionale des Alpes, mais elle est toutefois restée, en valeur absolue, supérieure à celle des Alpes centrales et septentrionales.*

Dans la zone d'ablation des glaciers de l'Aar, le volume de glace a diminué de 10 millions de m^3. Il en résulte un abaissement moyen de la surface glaciaire de 0.5 m.

*Le relevé photogrammétrique des profils transversaux de la langue du grand glacier d'**Aletsch** fait apparaître, juste en aval du Konkordiaplatz, un abaissement de sa surface de 3.7 m durant cet exercice, et de 10 m depuis 1991. Le long du profil de la forêt d'Aletsch (au lieu-dit Silbersand), la diminution d'épaisseur atteint presque le double de ces valeurs, soit 7 m pendant cet exercice et 19 m depuis 1991. A cet endroit, éloigné naguère de 3 km de l'extrémité du glacier, et de 300 m seulement aujourd'hui, la couche de glace s'est amoindrie de 300 m depuis 1880 et ne compte plus que 50 à 100 m d'épaisseur.*

Malgré une pluviosité fort généreuse, la masse des glaciers des Alpes suisses n'a pas connu d'accroissement durant ce dernier exercice. Les considérables réserves accumulées au cours de l'hiver ont juste suffi à la forte fonte de l'été, les précipitations de cette saison ayant ruisselé en majeure partie, en raison des températures élevées. Ces importants transfers de masse débouchent donc sur un équilibre et le bilan de masse des glaciers n'a en rien profité de cette abondance de précipitations. Quant au bilan hydrologique des régions englacées, il s'est révélé très favorable aux centrales hydroélectriques grâce à une fusion fort active et à un ruissellement remarquable; certaines ont même dû utiliser au maximum leurs capacités de retenue pour stocker les abondantes pluies de septembre. En revanche, la pratique du ski d'été sur les glaciers situés à altitude assez basse a de nouveau été restreinte, en raison de la disparition rapide et totale du manteau neigeux hivernal.

Tabelle 5.1: **Massenänderung 1991/92 und 1992/93**
Tableau 5.1: ***Bilans de masse 1991/92 et 1992/93***

Gletscher	Haushaltjahr oder Messperiode vom	bis	Gletscherfläche [1] [km²]	Massenänderung spezifisch [2] b_a [cm]	Gleichgewichtslinie [m ü.M.]
Gries	27.9.91	26.9.92	6.194 [1a]	- 72 [3]	3028 [3]
	26.9.92	24.9.93	6.194 [1a]	- 3 [3]	2839 [3]
Aletsch	1.10.91	30.9.92	127.32 [1b]	- 67	2960 [4]
	1.10.92	30.9.93	127.30 [1c]	+ 9	2950 [4]
Silvretta	20.9.91	19.9.92	3.15 [1d]	- 83 [3]	2966 [3]
	19.9.92	18.9.93	3.15 [1d]	- 23 [3]	2787 [3]
Glacier	*Année ou période du bilan* *du*	*au*	*Surface glaciaire* [1] [km²]	*Bilan de masse spécifique* [2] b_a [cm]	*Ligne d'équilibre* [m s.m.]

1 Geschätzter Wert am - *Valeur estimée le:* b) 1992 c) 1993
Gemessener Wert am - *Valeur mesurée le:* a) 1991 d) 12.9.1973

2 Gleichmässig über den Gletscher verteilter Zuwachs oder Abtrag. Der Eismenge 1 g/cm² 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/cm² équivaut à 1 cm en hauteur d'eau.*

3 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.*

4 Aus den Luftbildern vom 21.8.1992 bzw. 18.8.1993 auf dem Jungfraufirn ermittelte Werte. - *Valeurs obtenues par interprétation des clichés aériens pris du Jungfraufirn les 21.8.1992 et 18.8.1993.*

Tabelle 5.2: **Wasserhaushalt eines vergletscherten Einzugsgebietes, Massa (Aletschgletscher) 1991/92 und 1992/93** [1)]

Tableau 5.2: ***Bilans hydrologiques 1991/92 et 1992/93 de bassin versant englacé, Massa (glaciers d'Aletsch)*** [1)]

Bilanzjahr *Année du bilan* 1.10. - 30.9.	Niederschlag *Précipitations* N [2)] [kg/m^2]	Verdunstung *Evaporation* V [3)] [kg/m^2]	Abfluss *Ecoulement* A [4)] [kg/m^2]	Gletscherfläche *Surface dglaciaire* G [5)] [km^2]	Spezifische Massenänderung *Bilan de masse spécifique* B [6)] [kg/m^2]
1991/92	2159	210	2389	127.32	- 674
1992/93	2416	210	2145	127.30	+ 92
Vergleichswerte 1931-1993 - *Données statistiques 1931-19*					
Mittel *Moyenne*	2151	210	2110	130.7	- 250
Standardabweichung *Ecart-type*	244		320	3.1	683
Minimum (Jahr - *Année*)	1660 (1949)		1593 (1978)	127.30 (1993)	-2354 (1947)
Maximum (Jahr - *Année*)	2684 (1981)		3297 (1947)	136.9 (1931)	1261 (1978)

1 Aellen und Funk [1990], Daten ergänzt seit 1987 - *Aellen et Funk [1990], données complétées dès 1987.*

2 2/3 der gemessenen Niederschlagssumme von Grindelwald (1040 m), Ernen (1000 m) und Ried/Lötschental (1480 m), [SMA, 1991-93b].
2/3 *des précipitations cumulées mesurées à Grindelwald (1040 m), Ernen (1000 m) et Ried/Lötschental (1480 m), [SMA, 1991-93b].*

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

4 An der Limnigraphenstation Blatten bei Naters registrierte Abflüsse, [LHG, 1991-93].
Débits enrégistrés à la station limnigraphique de Blatten près de Naters, [LHG, 1991-93].

5 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^e/96^e rapports, 1973/74 et 1974/75).*

6 Schätzwerte, berechnet nach der Formel - *Valeurs estimées, calculées selon la formule:* $B = F \cdot R / G$ ($F = 194.7$ km^2, $R = N - A - V$).

Tabelle 5.3: **Griesgletscher (Ägina) - Massenänderung 1991/92 und 1992/93 in Höhenstufen**
*Tableau 5.3: **Glacier de Gries (Aegina) - Bilans de masse 1991/92 et 1992/93 en fonction de l'altitude***
Messperioden: 24.9.1991 - 2.10.1992
Périodes de bilan: 2.10.1992 - 27.10.1993

Höhenstufe *Altitude* [m ü.M.][*m s.m.*]	Fläche *Surface* [km²] 1)	**Massenänderung - *Bilan de masse*** 1991/92 gesamt [10^6 m^3]	1991/92 spezifisch [cm]	1992/93 *total* [10^6 m^3]	1992/93 *spécifique* [cm]
2400 - 2500	0.153	- 0.519	- 339	- 0.378	- 247
2500 - 2600	0.805	- 2.021	- 251	- 1.360	- 169
2600 - 2700	0.619	- 1.083	- 175	- 0.625	- 101
2700 - 2800	0.457	- 0.512	- 112	- 0.197	- 43
2800 - 2900	0.658	- 0.401	- 61	+ 0.033	+ 5
2900 - 3000	0.994	- 0.219	- 22	+ 0.417	+ 42
3000 - 3100	1.600	+ 0.064	+ 4	+ 1.104	+ 69
3100 - 3200	0.692	+ 0.138	+ 20	+ 0.595	+ 86
3200 - 3300	0.206	+ 0.066	+ 32	+ 0.200	+ 97
3300 - 3400	0.010	+ 0.005	+ 45	+ 0.011	+ 108
2400 - 3400	6.194	- 4.482	- 72	- 0.200	- 3

1 Flächen am 1991 - *Surfaces du 1991.*

Tabelle 5.4: **Silvrettagletscher - Massenänderung 1991/92 und 1992/93 in Höhenstufen**
*Tableau 5.4: **Glacier de Silvretta - Bilans de masse 1991/92 et 1992/93 en fonction de l'altitude***
Messperioden: 18.9.1991 - 16.9.1992
Périodes de bilan: 16.9.1992 - 19.9.1993

Höhenstufe *Altitude* [m ü.M.][*m s.m.*]	Fläche *Surface* [km²] 1)	**Massenänderung - *Bilan de masse*** 1991/92 gesamt [10^6 m^3]	1991/92 spezifisch [cm]	1992/93 *total* [10^6 m^3]	1992/93 *spécifique* [cm]
2400 - 2500	0.031	- 0.116	- 374	- 0.091	- 292
2500 - 2600	0.385	- 0.955	- 248	- 0.678	- 176
2600 - 2700	0.498	- 0.747	- 150	- 0.418	- 84
2700 - 2800	0.789	- 0.615	- 78	- 0.142	- 18
2800 - 2900	0.628	- 0.201	- 32	+ 0.144	+ 23
2900 - 3000	0.577	- 0.023	- 4	+ 0.283	+ 49
3000 - 3150	0.242	+ 0.056	+ 23	+ 0.179	+ 74
2400 - 3150	3.150	- 2.601	- 83	- 0.723	- 23

1 Flächen am 12.9.1973 - *Surfaces du 12.9.1973.*

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 jährlich vermessenen Querprofile und das Passpunktnetz für die luftphotogrammetrischen Auswertungen sind in der Abbildung 5.1 eingezeichnet. Angaben über die Dauer der Beobachtungen an den einzelnen Messstellen und die Koordinaten der Passpunkte sind im 90. Bericht (1968/69) zu finden, wo auch das Messprogramm der letzten zwei Jahrzehnte ausführlich beschrieben ist.

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 aéro-photogrammétriques et le réseau des points de repère sont indiqués dans la figure 5.1. La liste des coordonnées des points de repère est donnée dans le 90e rapport (1968/69) qui renseigne sur la durée des observations aux divers sites ainsi que sur le programme selon lequel les mensurations ont été effectuées ces deux dernières décennies.

Abbildung 5.1: **Aaregletscher - Lage der Querprofile**
Figure 5.1: ***Glaciers de l'Aar - Situation des profils transversaux***

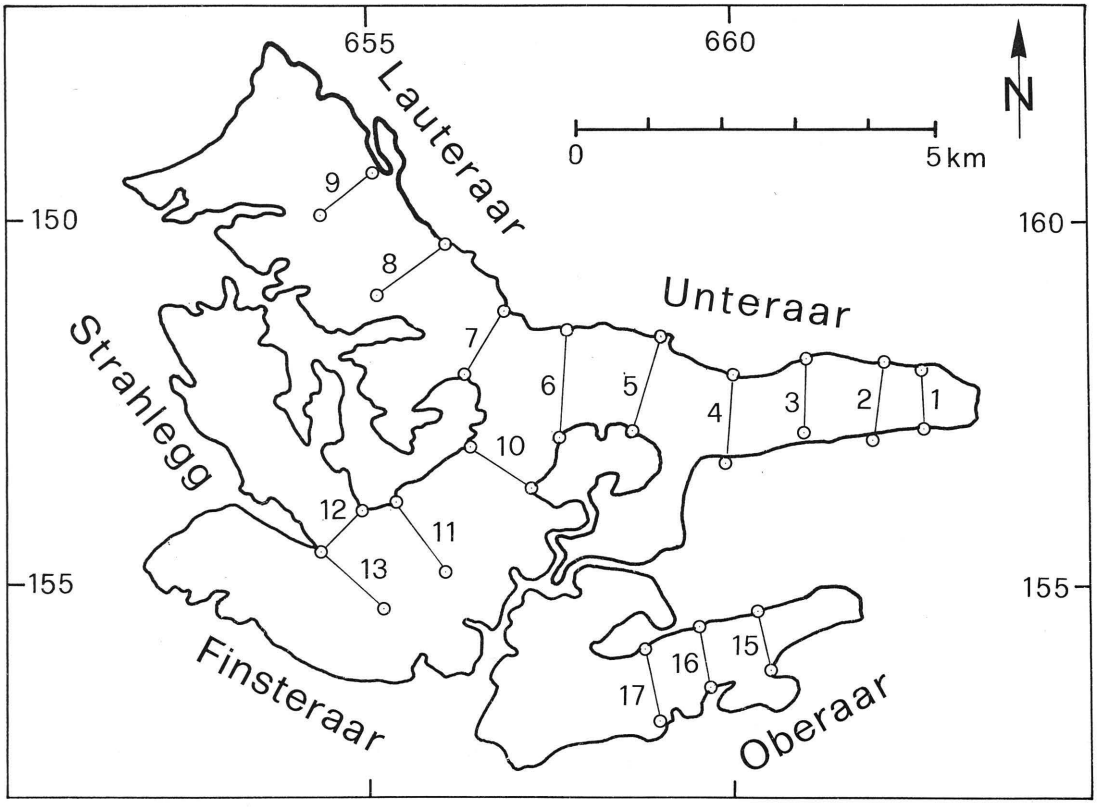


Tabelle 5.5: **Aaregletscher 1991/92**[1)]

Messperiode: 22.8.1991 - 16.9.1992 (Finster-, Lauter- / Ober-, Unteraar)

a) Dickenänderung und Bewegung

Gletscher	Profil (vgl. Abb. 5.1)		Gletscheroberfläche[2a)] Mittlere Höhe 1991 [m ü.M.]	1992 [m ü.M.]	Höhenänderung [m]	Gletscherbewegung[2b)] Verschiebung Mittel [m]	Maximum [m]	Geschwindigkeit Mittel [m/Jahr]	Änderung [m/Jahr]
Unteraar	Z	Zungenende 1991							
	1		1944.9	1942.5	- 2.3	0.8	2.3	0.7	- 0.3
	2	Obere Brandlamm	2017.7	2015.1	- 2.5	2.7	5.2	2.6	- 0.1
	3		2117.9	2114.5	- 3.2	14.4	22.3	13.4	+1.7
	4	Pavillon Dollfus	2207.8	2205.7	- 1.9	21.6	30.0	20.1	+1.2
	5		2280.3	2278.1	- 2.2	27.2	35.7	25.4	+0.0
	6	Mieselenegg	2355.5	2352.3	- 3.1	34.2	45.8	31.9	+0.7
Lauteraar	7		2423.8	2421.6	- 2.1	26.1	37.6	24.4	- 4.5
	8	Wildläger	2507.4	2505.0	- 2.3				
	9		2636.1	2632.8	- 3.1				
Finsteraar	10		2444.2	2442.0	- 2.1	31.2	42.9	29.2	- 7.5
	11	Grunerhorn	2553.9	2550.7	- 3.1	36.1	51.5	33.7	- 4.3
	12	Strahlegg	2619.9	2618.0	- 1.8				
	13	Finsteraar	2645.3	2641.9	- 3.2				
Oberaar	z	Zungenende 1991							
	14	Mittleres Profil	2351.8	2348.9	- 2.5				
	15	Oberes Profil	2479.4	2476.7	- 2.5				
	16	Oberstes Profil	2558.1	2555.5	- 2.5				
	17		2668.5	2666.4	- 2.0				

1 Vermessungen im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli, ausgeführt durch Vermessungsbüro A. Flotron, Meiringen.
2 Luftphotogrammetrisch ermittelte Werte: a) digitale Geländemodelle, b) Direktvergleich.

b) Flächen- und Volumenänderung

Begrenzungsprofile	Flächenänderung [m^2]	Volumenänderung [10^3 m^3]	Begrenzungsprofile	Flächenänderung [m^2]	Volumenänderung [10^3 m^3]
Unteraar			Finsteraar		
Z - 2	- 14200	- 1817	10 - 11		- 4147
2 - 3		- 2368	11 - 12/13		- 3952
3 - 4		- 2056			
4 - 5		- 2858	Z - 9/12/13		-34359
5 - 6		- 3129			
6 - 7/10		- 5880			
			Oberaar		
			z - 15	- 4000	- 1151
Lauteraar			15 - 16		- 1486
7 - 8		- 3909	16 - 17		- 1410
8 - 9		- 4243			
			z - 17		- 4047

Tableau 5.6: ***Glaciers de l'Aar 1992/93*** [1)]
Période d'observation: 16.9.1992 - 17.8.1993

a) Variations d'épaisseur et du mouvement

Glacier	*Profil (cf. fig. 5.1)*		***Niveau de la surface*** [2a)] *Altitude moyenne 1992* [m s.m.]	*1993* [m s.m.]	*Variation* [m]	***Mouvement du glacier*** [2b)] *Déplacement moyen* [m]	*maximal* [m]	*Vitesse moyenne* [m/an]	*Variation* [m/an]
Unteraar:	*Z*	*Front en 1992*							
	1		1942.5	1941.2	- 1.3	0.6	1.3	0.6	- 0.1
	2	*Obere Brandlamm*	2015.2	2013.6	- 1.5	1.8	3.8	1.9	- 0.7
	3		2114.5	2113.8	- 0.6	10.6	17.1	11.5	- 1.9
	4	*Pavillon Dollfus*	2205.7	2204.8	- 0.9	14.1	20.1	15.4	- 4.7
	5		2278.1	2277.1	- 1.0	20.4	28.1	22.2	- 3.2
	6	*Mieselenegg*	2352.3	2352.1	- 0.2	22.4	32.2	24.4	- 7.5
Lauteraar	*7*		2421.6	2420.8	- 0.8	20.8	27.1	22.7	- 1.7
	8	*Wildläger*	2505.0	2504.9	- 0.0	21.8	43.0	23.8	
	9		2632.8	2632.5	- 0.3				
Finsteraar	*10*		2442.0	2441.1	- 0.8	22.6	32.2	24.7	- 4.5
	11	*Grunerhorn*	2550.7	2550.6	- 0.1	24.7	34.9	26.9	- 6.8
	12	*Strahlegg*	2618.0	2617.9	- 0.0				
	13	*Finsteraar*	2641.9	2641.3	- 0.6				
Oberaar	*z*	*Front en 1992*							
	14	*Profil médian*	2348.9	2347.3	- 1.4				
	15	*Profil supérieur*	2476.7	2475.4	- 1.3				
	16	*Profil suprème*	2555.5	2554.5	- 1.0				
	17		2666.4	2665.8	- 0.6				

1 *Mensurations effectuées à la demande des forces motrices de l'Oberhasli par le bureau A. Flotron, Meiringen.*
2 *Valeurs déterminées par aéro-photogrammétrie: a) maquettes numériques de la topographie, b) comparaison directe.*

b) Variations de surface et du volume

Profils-limitants	*Variation de la surface* [m^2]	*Variation du volume* [10^3 m^3]	*Profils limitants*	*Variation de la surface* [m^2]	*Variation du volume* [10^3 m^3]
Unteraar			Finsteraar		
Z - 2	- 17700	- 1170.5	10 - 11		- 419.3
2 - 3		- 730	11 - 12/13		- 259.3
3 - 4		- 573.5			
4 - 5		- 1254.5	Z - 9/12/13		- 8652.5
5 - 6		- 1500			
6 - 7/10		- 1721.5			
			Oberaar		
			z - 15	- 700	- 574.5
			15 - 16		- 568
Lauteraar			16 - 17		- 308.3
7 - 8		- 563.5			
8 - 9		- 460.5	z - 17		- 1450.8

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 im Berninamassiv und 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 der Berichtsjahre hat G. Kappenberger mit der Unterstützung von Urs Steinegger (1992), H. Müller-Lemans (Herbst 1992 und 1993), Angelo Zoppet (1993) und Chris Hottelet (Herbst 1993) durchgeführt. Hüttenwart P. Beglinger hat wiederum die zusätzlichen Pegelablesungen zwischen den Hauptterminen besorgt. 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 [1991-1993b] zugrunde.

Beobachtungen 1992

Bei der Frühjahrsbegehung, am 18. Mai, betrug die Schneehöhe bei der Hütte 330 cm. Die Ablesung am unteren Firnpegel ergab 430 cm, das Sondieren in der Umgebung 460 cm Winterzuwachs. Beim oberen Firnpegel wurde der Sommerhorizont 1991 im Schneeschacht in 504 cm Tiefe ausgegraben, mit der Sonde in der Umgebung durchschnittlich in 495 cm Tiefe geortet. Der im Schacht ermittelte Wasserwert des Winterschnees betrug 242 cm, bei einer hohen mittleren Dichte von 0.480 g/cm^3. Die Perkolationsfront lag bei etwa 2 m Tiefe.

Bei der Herbstmessung am 19. September lag beim unteren Pegel 10 cm Neuschnee (4 cm Wasseräquivalent), wobei ca. 75 cm Altfirn weggeschmolzen waren. Die resultierende Bilanz wurde auf -42 cm Wasseräquivalent geschätzt. Wir beobachteten 39 m talwärts in der Fliesslinie des Gletschers auf der Oberfläche eine sehr alte Ockerschicht, sicher ein gutes Dutzend Jahre alt.

Beim oberen Pegel lag 130 cm Restfirn, im Schacht 139 cm. Nach der Herbstbegehung 1991 schmolzen noch einige cm Firn weg, praktisch runter bis zum Sommerhorizont 1990. Da die Oberfläche des Gletschers kontinuierlich absinkt, war erstmals direkt beim oberen Pegel die Visur nach Südosten mittels Rückwärtseinschnitt - Steinmann vor Gipfel - nicht mehr möglich.

Beobachtungen 1993

Bei der Frühjahrsbegehung, am 16. Mai, lag der Schnee bei der Claridenhütte 330 cm hoch. Beim unteren Firnpegel ergab die Ablesung an der Stange 375 cm, das Sondieren in der Umgebung im Mittel 388 cm Schneezuwachs. Beim oberen Firnpegel wurden an der Stange 430 cm, in der Umgebung 443 cm und im Schacht 425 cm Schneezuwachs ermittelt (Wasserwert 199 cm). Beim Graben im Schacht stiessen wir auf den harten Horizont etwa 17 cm unter dem Ockerhorizont. Die Schmelzwasserinfiltration erreichte ca. 2.5m Tiefe.

Bei der Herbstbegehung am 20. September lagen beim unteren Pegel noch ca. 20 cm Firnschnee (11 cm Wasseräquivalent) vom Winter 1992/93 plus zusätzlich 50 cm Herbstschnee (21 cm w.e.). Beim oberen Pegel lagen noch 130 cm Restschnee. Die Sondierung in der Umgebung ergab jedoch eine Höhe von 248cm, im Schneeschacht wurde eine Höhe von 239 cm gemessen. Die Diskrepanz zwischen dem Wert bei der Stange und den beiden anderen Werten lässt sich am ehesten damit erklären, dass ein Passant den Pegel etwa einen Meter herausgezogen hat.

Tabelle 5.7: **Claridenfirn 1991/92**
Messperiode: 16.9.1991 - 19.9.1992

a) Schnee- und Firnzuwachs, Dickenänderung und Bewegung

Messperiode vom	bis	Messstellen Pegel	Höhe [m ü.M.]	Schnee- oder Firnzuwachs Höhe [cm]	Wasserwert [cm]	Raumgewicht [g/cm³]	Dickenänderung [m]	Horizontalbewegung [m]
Winter								
16.9.91	18.5.92	unterer	2700	460				
16.9.91	18.5.92	oberer	2900	504	242	0.480		
Jahr								
16.9.91	19.9.92	unterer	2700	- 75 [1]	- 46	0.610	- 0.5	3.5
16.9.91	19.9.92	oberer	2900	130	74	0.531	- 1.3	13
Jahreszuwachs 1914-1984 - *Accumulation annuelle 1914-1984*								
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			

1 10 cm Neuschnee nicht berücksichtigt - *sans tenir compte des 10 cm de neige fraîche*.

b) Saison- und Jahresniederschlag

Station	Höhe [m ü.M.]	Niederschlag Messperiode [1] Winter [cm]	Sommer [cm]	Jahr [cm]	Hydrologisches Jahr Summe [cm] [2]	Abweichung vom Normalwert [cm] [3]	[%]
Totalisatoren							
Claridenhütte	2480	142	58	200	181	- 11	- 6
Geissbützistock	2710	154	52	206	186	- 17	- 9
Vergleichsstationen							
Tierfehd	820	111.6	63.9	175.5	175.5	+ 6.9	+ 4
Elm	962	86.4	63.6	150.0	150.0	- 4.0	+ 2
Disentis	1173	65.8	47.8	113.6	113.6	- 10.9	- 8
Braunwald	1190	124.6	67.0	191.6	191.6	+ 4.6	+ 2
Urnerboden	1350	95.1	66.3	150.0	150.0	+ 0.8	0

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 1.10.1991 - 30.9.1992, für die Totalisatoren berechnet aus dem Jahreswert aufgrund der Tageswerte an den Vergleichsstationen.

3 Der Normalwert entspricht dem Mittelwert der Periode [SMA, 1991a,b]:
1901/60 Vergleichsstationen
1981/90 Totalisator Geissbützistock: 203 cm
1981/90 Totalisator Claridenhütte: 192 cm

Tableau 5.8: ***Glacier de Clariden 1992/93***
Période d'observation: 19.9.1992 - 20.9.1993

a) Accumulation nivale, variations d'épaisseur et mouvement

Période de mesure du	au	*Site de mesure* Balise	Altitude [m s.m.]	*Accumulation nivale* Hauteur [cm]	Equivalent en eau [cm]	Densité [g/cm^3]	*Variation d'épaisseur* [m]	*Déplacement horizontal* [m]
Hiver								
19.9.92	16.5.93	*infér.*	2700	375				
19.9.92	16.5.93	*supér.*	2900	425	199	0.458		
Année								
19.9.92	20.9.93	*infér.*	2700	70	32	0.457	- 0.5	3.0
19.9.92	20.9.93	*supér.*	2900	239	119	0.499	0	13.0
***Accumulation hivernale 1914-1984* - Winterzuwachs 1914-1984**								
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* [m s.m.]	*Pluviosité* *Période d'observation* [1] Hiver [cm]	Eté [cm]	Année [cm]	*Année hydrologique* Somme [cm] [2]	Écart par rapport à la valeur normale [cm] [3]	[%]
Totalisateurs							
Cabane de Clariden	2480	104	98	202	210	+18	+ 9
Geissbützistock	2710	119	88	207	215	+12	+ 6
Stations pluviométriques							
Tierfehd	820	87.7	102.2	179.6	179.6	+25.6	+17
Elm	962	81.0	98.6	189.9	189.9	+21.3	+13
Disentis	1173	47.6	71.5	119.1	119.1	- 5.4	- 4
Braunwald	1190	125.6	103.4	229.0	229.0	+42.0	+22
Urnerboden	1350	85.3	116.8	202.1	202.1	+41.5	+26

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 1.10.1992 - 30.9.1993, 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, 1991a,b]:*
1901/60 Stations pluviométriques
1981/90 Totalisateur Geissbützistock: 203 cm
1981/90 Totalisateur Cabane de Clariden: 192 cm

5.5.3 Engadin

Engadin: In den nachstehenden Berichten kommentiert G. Gensler (SMA) seine telemetrischen Beobachtungen im Berninagebiet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.9 zusammengestellt. Entgegen der Meldung im letzten Jahrbuch führt er die Beobachtungen im Berninagebiet doch noch weiter.

Beobachtungen 1992

Das Ausaperungsbild der Berninagruppe, gegen Ende der Ablationsperiode vorwiegend für N-Exposition erfasst und verglichen mit den Aufnahmen der 55 Jahre von 1935 bis 1989 (für 5 fehlende Jahre interpoliert), ergab für den Sommer 1992 folgenden Befund:

- über *eisfreiem Boden* schmolz der Schnee soweit zurück wie 1991. Somit gehört 1992 zu den 5-6 stärksten Abschmelzjahren seit 1935.
- über dem *Eis* ist der Ausaperunggrad leicht unter demjenigen von 1991, vergleichbar mit 1990. Der Grund dafür liegt in der grösseren Schneemenge des Winters 1991/92. 1992 gehört dennoch zu den etwa 6-8 abschmelzreichsten Sommern seit 1935.

Die Höhe der Felsinsel am Misaun hat seit 1988 dauernd zugenommen und ist nun im Mittel 14-15 m hoch.

Der Firnzuwachs über mehrere Jahre ist ermittelt anhand der an Firnspalten und -abbrüchen sichtbaren Eis- und Schmutzhorizonte (Firnschichtung), deren Entstehung aufgrund der früheren Skizzen vermutungsweise datiert ist. Die beobachteten Stellen befinden sich im Persgletscher (ca. 1.8 km SE der Felsinsel Refugi Chamuotschs, N-exponiert), am Mittelgipfel des Piz Palü (Abbrüche, N-NW exponiert) und ausserdem wie in früheren Jahren auch am Piz Morteratsch (Abbruch der Firnkuppe, NE exponiert).

Die absolute Höhenänderung der Firnoberfläche am Grat des Palü-Mittelgipfels (ca. 15° geneigt, N-NW exponiert in 3900 m ü.M.) ist bezogen auf den Ausgangswert vom August 1951. Sie lag am Ende der Ablationsperiode 1992 rund 3 m über dem Anfangswert von 1951 und 4 m unter dem Maximalwert von 1977.

Beobachtungen 1993

Ausaperungsgrad Sommer 1993: Der schneearme Winter und die zu warmen und trockenen Monate April und Mai bewirkten bis anfangs Juni einen Ausaperungsstand der Winterschneedecke über eisfreiem Boden, der üblicherweise anfangs Juli angetroffen wird. Nach zwei unbeständigen Junidritteln und ganzen Juli wurde der August um 2-2 1/2 °C zu warm. So kam trotz einer etwa sechswöchigen wettermässig ungünstigen Hochsommerphase eine deutlich überdurchschnittliche Ausaperung zustande, die im Rahmen der Jahre 1987, 1988 und 1990-92 lag. So gehört auch 1993, zumindest über eisfreiem Boden, zu den 10 Sommern mit der stärksten Ausaperung seit 1935.

An dem ganz schneefreien Gletschereis am Misaun gab es an den bisherigen Felsinseln Einsenkungen oder gar Einbrüche zwischen 3 1/2 und 10 m. Eine neue, 1993 "aufgetauchte" Felsinsel wurde 3-3 1/2 m hoch. Der ehemalige Firn des Vadretin Misaun ist in einer verstärkt labilen, stark negativen Haushaltphase.

Der mehrjährige Firnzuwachs ist in gleicher Weise und an den gleichen Stellen bestimmt wie im Vorjahr.

Die Firnoberfläche am Grat des Palü-Mittelgipfels (ca. 15° geneigt, N-NW exponiert in 3900 m ü.M.) lag Ende März um 3 1/2 bis 4 m, Ende August um 3 m über dem Anfangswert von 1951 und 4 m unter dem Maximalwert von 1977.

Tabelle 5.9: **Berninagebiet**
Tableau 5.9: ***Massif de la Bernina***

a) Firnzuwachs und Dickenänderung 1991/92 und 1992/93
Accumulation nivale et variations d'épaisseur 1991/92 et 1992/93

Messdatum *Date de mesure*		**Dickenänderung** [1] *Variation d'épaisseur* Piz Misaun (3000) m	Piz Rosatsch (3100 m)	Firnzuwachs [2] *Accumulation nivale* Piz Palü (3800-3850 m)
Jahr/*Année*	Datum/*Date*	[m]	[m]	[m]
1991/92	27.8.92	- 3.5	- 0.7	
	30.8.92			+ 1.75
1992/93	28.3.93	+ 2.3	+ 2.9	
	29.8.93	- 1.8 [3]	+ 0.6	+ 3

1 Änderung der Meereshöhe der Firnoberfläche seit Sommerende 1991 bzw. 1992. - *Variation de l'altitude de la surface glaciaire à partir de la fin de l'été 1991 resp. 1992.*
2 Zuwachs seit Sommerende 1991 bzw. 1992 - *Accumulation à partir de la fin de l'été 1991 resp. 1992.*
3 Nur ein Messpunkt - *seulement un point de mesure.*

b) Firnzuwachs - Mehrjahreswerte
Accumulation nivale - Valeurs pluriannuelles

	Firnzuwachs seit Herbst - *Accumulation nivale depuis l'automne* 1991 [m]	1990 [m]	1987 [m]	1983 [m]	1977 [m]	1977/75 [m]	1974 [m]
1992 (Sommerhorizont)							
Pers (ca. 3250 m)	1 1/2			4 3/4	10		13 1/2
Piz Morteratsch (3450 m)	1		3 3/4			9 1/4	
Palü (3800-3850 m)	1 1/2-2	3					

	Firnzuwachs seit Herbst - *Accumulation nivale depuis l'automne* 1992 [m]	1983 [m]	1977 [m]	1974 [m]	1974/72 [m]	1968 [m]	1962 [m]
1993 (Sommerhorizont)							
Pers (ca. 3250 m)	1 1/2-2		8	13-14			
Palü (3800-3850 m)	2 1/2-3 1/2	9			19	26-27	30-31

6. SUMMARY

6.1 INTRODUCTION

An annuel survey of the current 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 1991/92 and 1992/93, reports no. 113 and 114" are part of a series founded by F.A. Forel in 1880. Since 1964, the GK/SANW has contracted 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, to collect and prepare the annual observation data and for preparing the annual reports. These reports are published with financial support from the SANW.

A network of 121 glaciers has been selected to determine the changes in length. The measurments are carried out with the help of cantonal forestry services, hydroelectric power companies, scientific institutions and individual coworkers. The determination of mass balance changes of 3 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, 1993 and 1994]. 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 photographs can be found at the front of this report (see p. IX, XII, XV, XVII).

6.2 CLIMATE AND WEATHER

The climatic conditions of the balance year 1991/92 were similar to those of the preceeding year. The temperature of almost every month was above average with record highs being measured in January and August. In some areas the summer temperatures were even the highest ones recorded in this century. All in all it was one of the warmest years on record. The annual precipitation rate was average. The very hot and dry summer has led to extensive wastage of glaciers. The ablation season ended abruptly at the beginning of September as a cold period resulted in the first snowfall of this year. Only about two weeks later, however, a warm spell caused some more melting before cold temperatures returned towards the end of the same month. On the whole, this balance year was not one of the most negative ones of this century because ablation was interrupted or inhibited by snowfall several times.

The climatic conditions of the balance year 1992/93 were again similar. The total amount of precipitation, however, was extraordinarily high. High temperatures resulted mostly in run-off of rain water instead of accumulation of snow. Therefore, hydro-electric reservoirs were already nearly filled by September and additional water from further precipitation could not be retained. The mean monthly as well as seasonal temperatures were slightly above average and precipitation was well above the norm. Nevertheless, glacier mass changes were little. Only the tongues of long glaciers and small glaciers at low altitudes experienced exessive wastage due to the unfavourable climatic conditions of this year.

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 news bulletin 'ICE' of the International Glaciological Society. A list of aerial surveyd carried out in 1992 and 1993 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			
	advancing	stationary	retreating	sample size
1991/92	7	5	94	106
1992/93	6	0	73	79

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. XVII).

6.6 MASS BALANCE

The specific changes in mass have been determined for 3 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	Silvretta
1991/92	- 72	- 67	- 83
1992/93	- 3	+ 9	- 23

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 river Massa is given in table 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 firn accumulation, thickness and velocity variations, collected on **Claridenfirn** (Glaronese Alps) and from the Bernina region in the Engadin, are presented in chapter 5.5 (table 5.7 to 5.9). 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. 1993: Die Gletscher der Schweizer Alpen im Jahr 1991/92. Auszug aus dem 113. Bericht der GK/SANW. -- Zeitschrift "Die Alpen" 4/1993, 69. Jg., S. 212-233. - *Les glaciers des Alpes suisses en 1991/92. Extrait du 113e rapport de la CG/ASSN. -- Revue "Les Alpes" 4/1993, 69e année, p. 212-233.*

Aellen, M. 1994: Die Gletscher der Schweizer Alpen im Jahr 1992/93. Auszug aus dem 114. Bericht der GK/SANW. -- Zeitschrift "Die Alpen" 4/1994, 70. Jg., S. 207-227. - *Les glaciers des Alpes suisses en 1992/93. Extrait du 114e rapport de la CG/ASSN. -- Revue "Les Alpes" 4/1994, 70e année, p. 207-227.*

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.

Fabri, K., Funk, M. and Iken, A. 1992: A sensitivity study for modelling ice temperature in Jakobshavn Isbrae, Greenland. -- Arbeitsheft, Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology. ETH-Zurich, 11, 35 p.

Funk, M., 1995: Glaciologie appliquée en Suisse - Deux cas récement traités: Grimsel-Ouest et glacier suspendu dans la face ouest de l'Eiger. -- In: Gletscher im ständigen Wandel. Publikation der SANW, Vdf-Verlag ETH Zürich, S. 179-188.

Funk, M., Echelmeyer, K and Iken, A. 1994: Mechanisms of fast flow in Jakobshavns Isbrae, West Greenland: Part II Modelling of englacial temperatures. -- Journal of Glaciology, 40 (136), p.569-585.

Gudmundsson, G.H. 1994: An order of magnitude estimate of the current uplift-rates in Switzerland caused by the Würm Alpine deglaciation. -- Eclogae geol. Helv. 87 (2), p. 545-557.

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. and Wallén, C.C. 1993: Glaciers and the Environment. -- UNEP/GEMS. Environment Library, 9, 23 p.

Hoelzle, M. 1993: DC resistivity soundings 1992 in North-western Svalbard. -- Arbeitsheft, Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology. ETH-Zurich, 13, 19 p.

IAHS(ICSI)-UNESCO-UNEP 1993a: Fluctuations of Glaciers 1985-1990. -- Eds. Haeberli, W. and Hoelzle, M., 6, 322 p.

IAHS(ICSI)-UNESCO-UNEP 1993b: Glacier Mass Balance Bulletin 1990-1991. -- Eds. Haeberli, W., Herren, E. and Hoelzle, M., 2, 74 p.

Iken, A. Fabri, K. and Funk, M. 1996: Water storage and subglacial drainage conditions inferred from borehole measurements on Gornergletscher, Valais, Switzerland. -- Journal of Glaciology, 42 (141), p. 233-248.

Iken, A., Echelmeyer, K., Harrison, W. and Funk, M. 1993: Mechanisms of fast flow in Jakobshavns Isbrae, West Greenland: Part I Measurements of temperature and water level in deep boreholes. -- Journal of Glaciology, 39 (131), p. 15-25.

Kääb, A., 1996: Photogrammetrische Analyse zur Früherkennung gletscher- und permafrost bedingter Naturgefahren im Hochgebirge. -- Mitteilung der VAW/ETH-Zürich (Diss. ETH Zürich), 145, 182 S.

Kasser, P., Aellen, M., und Siegenthaler, H. 1986: Die Gletscher der Schweizer Alpen 1977/78 und 1978/79. -- 99. und 100. Bericht (Jahrbuch) der GK/SNG, 288 S. - *Les variations des glaciers suisses 1977/78 et 1978/79. -- 99e et 100e rapports (annuaire) de la CG/SHSN, 288 p.*

Keller, F. and Gubler, H.U. 1993: Interaction between snow cover and high mountain permafrost, Murtèl-Corvatsch, Swiss Alps. -- 6th International Conference on Permafrost, Beijing, 1 p. 332-337.

Klingelé, E. und Vonder Mühll, D. 1993: Gravimetrische Untersuchungen im Permafrost des Blockgletschers Murtèl-Corvatsch. -- Vermessung, Photogrammetrie und Kulturtechnik, 10, S. 575-580.

Laternser, M., 1994: Firn temperature measurments and snow pit studies on the EGIG Eastern Traverse of Central Greenland, 1992. -- Arbeitsheft, Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology. ETH-Zurich, 15, 87 p.

LHG 1991-93: 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.*

Lüthi, M. und Funk, M. 1997: Wie stabil ist der Hängegletscher am Eiger? -- Spektrum der Wissenschaft, 5, S. 21-24.

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. Bericht (Jahrbuch 1975/76 und 1976/77) der GK/SNG, Kap. 6.1, S. 136-147.

SLF 1993: Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen - Winter 1991/92. -- Winterbericht des SLF Weissfluhjoch-Davos Nr. 56, Verlag EDMZ Bern.

SLF 1994: Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen - Winter 1992/93. -- Winterbericht des SLF Weissfluhjoch-Davos Nr. 57, Verlag EDMZ Bern.

SMA 1991-93a: Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, 128.- 130. Jg, 1991 - 1993.

SMA 1991-93b: Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen auf den Meteorologischen und Regenmess-Stationen der Schweiz. -- Quartalshefte der SMA, 3/1991 - 4/1993.

SMA 1991-93c: Täglicher Wetterbericht der SMA, September 1991 - Oktober 1993. -- *Bulletins météorologiques quotidiens de l'ISM, septembre 1991 - octobre 1993.*

SMA 1991-93d: Monatlicher Witterungsbericht der SMA, September 1991 - Oktober 1993. -- *Bulletins climatologiques mensuels de l'ISM, septembre 1991 - octobre 1993.*

Uttinger, H. 1966: Klimatologie der Schweiz. Niederschlag. 4. Teil. -- Schweizerische Meteorologische Anstalt Zürich, S. 125-170.

VAW 1992: Jahresbericht der VAW 1992, ETH Zürich, 94 S.

VAW 1993: Jahresbericht der VAW 1993, ETH Zürich, 102 S.

Vonder Mühll, D. 1993: Geophysikalische Untersuchungen im Permafrost des Oberengadins. -- Mitteilung der VAW/ETH-Zürich, 122, 222 S. (Dissertation Nr. 10107, ETH Zürich).

Vonder Mühll, D., Haeberli, W. und Klingelé, E. 1996: Geophysikalische Untersuchungen zur Struktur und Stabilität eines Moränendammes am Grubengletscher (Wallis). -- Interprävent 96, Garmisch-Partenkirchen, 4, S. 123-132.

Wagner, S. 1996: Dreidimansionale Modellierung zweier Gletscher und Deformationsanalyse von eisreichem Permafrost. -- Mitteilung der VAW/ETH-Zürich, 146, 135 S.

Wegmann, G. 1995: Permafrostvorkommen auf geringer Meereshöhe. Eine Fallstudie im Brüeltobel (AI). -- Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich in Zusammenarbeit mit der VAW/ETH-Zürich. 80 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, crées en 1880 par F.A. Forel (1841-1912).*

Verfasser der Berichte - *Auteurs des rapports*	Nr. - *No.*	Jahr - *Année*
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 - 115	1983/84 - 1993/94
M. Aellen, M. Hoelzle und D. Vonder Mühll	116	1994/95
M. Hoelzle und D. Vonder Mühll	117	1995/96

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 - 111/112	1981/82 - 1990/91
E. Herren und M. Hoelzle	113/114	1991/92 - 1992/93

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

Zeitschrift - *Périodique*	Bericht Nr. - *Rapport No.*
ECHO DES ALPES XVII - XVIII, Genève 1881 - 1882	1 - 2
JAHRBUCH DES SAC - *ANNUAIRE DU CAS* XVIII - LVIII, Bern 1883 - 1924	3 - 44
DIE ALPEN - *LES ALPES,* Jahrgang - *Année* 1-70, Bern 1925 -1997	45 - 117*)
*) publiziert ohne Tabellen - *publiés sans les tableaux*	71 - 75
publiziert in gekürzter Fassung - *publiés en extrait*	85 - 117

erhältliche Sonderdrucke - *Tirés-à-part disponibles*	
Extrait de la revue LES ALPES	81 - 86
Extrait complété de la revue LES ALPES	87 - 90
Publication de la Commission des glaciers de la SHSN	91 - 93/94
Publikation der Gletscherkommission der SNG	93/94
Jahrbuch der Gletscherkommission - *Annuaire de la Commission des glaciers*	95/96 - 113/114