

**DIE GLETSCHER DER SCHWEIZER ALPEN  
1989/90 und 1990/91**

111. und 112. Bericht

**LES VARIATIONS DES GLACIERS SUISSES  
1989/90 et 1990/91**

*111<sup>e</sup> et 112<sup>e</sup> rapports*

**JAHRBUCH**

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

**ANNUAIRE**

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

1994

**DIE GLETSCHER DER SCHWEIZER ALPEN  
1989/90 und 1990/91**

111. und 112. Bericht

**LES VARIATIONS DES GLACIERS SUISSES  
1989/90 et 1990/91**

*111<sup>e</sup> et 112<sup>e</sup> rapports*

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

**JAHRBUCH DER GLETSCHERKOMMISSION DER SANW**

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

**1994**

Publikation mit Unterstützung der Schweizerischen Akademie der  
Naturwissenschaften / SANW

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

Publikation der Gletscherkommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW)

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

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

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

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

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

Druck von Stämpfli+Cie. AG, Bern 1994

*Imprimé par Stämpfli+Cie AG, Bern 1994*

Gletscherkommission der SANW 1994

©

*Commission des glaciers de l'ASSN 1994*

## NOTIZ

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

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

## NOTICE

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

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

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

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



# VORWORT

Das vorliegende Jahrbuch ist im Inhalt gleich aufgebaut, im Habitus gleich aufgemacht wie die vorangehenden Bände (abgesehen von den nachstehend erwähnten Anpassungen), da vereinbart war, dass Aufbau und Aufmachung des Jahrbuchs beibehalten werden sollen bis die Verspätung der Berichte gegenüber den Berichtsjahren auf ein beziehungsweise zwei Jahre verkürzt sei. Nachdem dieser Fall nun eingetreten ist, werden die zuständigen Instanzen entscheiden, welche Änderungen für die künftigen Ausgaben des Jahrbuchs erforderlich sind, wobei auch den von der SANW angestrebten Sparmassnahmen bei den von ihr subventionierten Zeitschriften Rechnung zu tragen ist. Mit Gewissheit unverändert beibehalten bleibt das Motto für die Redaktionsarbeit: Verändern und Verbessern sind zweierlei (altes chinesisches Sprichwort).

Beim vorliegenden Jahrbuch ist auf folgende Änderungen oder Korrekturen hinzuweisen:

- Den Statistiken der Längenänderungen (Kap. 3) liegt erstmals das um eine Einheit (Croslinagletscher) auf 121 Gletscherzungen erweiterte Messnetz zugrunde.
- Tabelle 5.2 enthält neben den aktuellen Werten auch die im vorangehenden Jahrbuch irrtümlicherweise nicht nachgetragenen Werte der Berichtsjahre 1987/88 und 1988/89.

# 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 gemäss dem Originalbericht des Beobachters nur in einer Sprache (deutsch, französisch, italienisch) wiedergegeben. Ein Teil der Texte, Tabellen und Abbildungen des Jahrbuchs sind in der Quartalszeitschrift des Schweizerischen Alpenklubs "Die Alpen" veröffentlicht [Aellen, 1991 und 1992].

Das vorliegende Jahrbuch (111. und 112. Bericht) betrifft die Beobachtungsjahre 1989/90 und 1990/91.

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 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 den in der Einleitung (Kap. 5.1) genannten langfristigen Untersuchungsprogrammen. Den Beitrag der VAW (Kap. 5.2 und 5.3) haben M. Funk (Gries- und Silvrettagletscher, Einzugsgebiet Ägina) und M. Aellen (Aletsch-, Limmern- und Plattalvagletscher, Einzugsgebiete Massa und Rhone) 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 Firnzuwachs (Kap. 5.5) werden für die Gletscherkommission durch die im Text (Kap. 5.5.2 - 5.5.4) genannten Mitarbeiter durchgeführt.

Kapitel 6 enthält kurze Inhaltsangaben aller Kapitel in englischer Sprache.

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

# ZUSAMMENFASSUNG

## 1989/90

Im Herbst 1990 hat die 111. der von 1880 an jährlich durchgeführten Erhebungen über die Veränderungen der Gletscher in den Schweizer Alpen stattgefunden. Dabei ist die Längenänderung an 111 Gletscherzungen ermittelt worden, wovon 14 länger, 91 kürzer geworden und 6 unverändert geblieben sind. Dieses Ergebnis weist das Berichtsjahr den starken Schwundjahren zu. Solche sind von 1930 bis 1964 häufig, seither jedoch nie mehr aufgetreten. Die Massenänderung ist in 5 Fällen für den ganzen Gletscher, in 7 Fällen für Teilgebiete oder an einzelnen Messpunkten bestimmt worden. In allen Fällen ist stärkerer Schwund als in jedem der letzten 15 Jahre, in einem Fall der stärkste Schwund der letzten 29 Jahre festgestellt worden. In den südlichen und östlichen Regionen war der Schwund annähernd so gross wie im Extremjahr 1947, in den nördlichen und westlichen Regionen nur etwa halb so gross. Der ungleich starke Schwund entspricht weitgehend den Verhältnissen am Winterende mit durchwegs unterdurchschnittlichen, im Süden stark, im Norden mässig abweichenden Schneehöhen. Früher Beginn der Schneeschmelze und lange Wärmeperioden im Hochsommer bewirkten überall frühes Ausapern und starkes Abschmelzen der Gletscher. Sehr geringer Firnzuwachs im Nährgebiet und ausgesprochen niedrige Fliessgeschwindigkeiten des Eises im Zehrgebiet trugen dazu bei, dass der Abtrag allenthalben bei weitem überwog. Demzufolge hat die Gletscherdicke überall enorm stark, im Durchschnitt um einen bis zwei, stellenweise um mehrere Meter abgenommen.

Das Berichtsjahr ist das siebente aufeinanderfolgende Jahr mit zu mildem Winter und zu warmem Sommer. Als wärmstes und vor allem auch trockenstes Jahr in dieser Reihe wies es ähnliche, für das Wachstum der Gletscher ungünstige Klimabedingungen und ähnlich starken Gletscherschwund auf wie die meisten Jahre der Periode 1930-64. Diese längste und am stärksten ausgeprägte Schwundperiode der gesamten Beobachtungsreihe seit 1880 hat die Gletscher der Schweizer Alpen auf eine minimale, seit dem Mittelalter nie unterschrittene Grösse reduziert. Der Zuwachs in den "fetten" Jahren des 1980er-Vorstosses ist in den "sieben mageren Jahren" des vergangenen Jahrzehnts grösstenteils wieder aufgezehrt worden. Der gegenwärtige Gletscherstand entspricht nahezu wieder dem Stand der minimalen Grösse vor der letzten Wachstumsperiode. Seit der Mitte des 19. Jahrhunderts ist die Gletscherfläche in der Schweiz um rund ein Drittel zurückgegangen.

## 1990/91

Im Herbst 1991 ist die jährliche Erhebung über die Veränderungen der Gletscher in den Schweizer Alpen zum 112. Mal durchgeführt worden. Dabei ist die Längenänderung an 109 Gletscherzungen ermittelt worden. In 100 Fällen ist ein Längenschwund, in 8 Fällen ein Längenzuwachs und in 1 Fall eine unbedeutende Veränderung festgestellt worden. Dieses Ergebnis weist das Berichtsjahr den sehr starken Schwundjahren zu. Solche sind seit 1880 durchschnittlich einmal in 4 bis 12 Jahren aufgetreten. Die Massenänderung ist in 3 Fällen für den ganzen Gletscher, in 7 Fällen für Teilgebiete oder an einzelnen Messpunkten bestimmt worden. In allen Fällen war der Schwund stärker als in den meisten der letzten 30 Jahre, aber - ausser beim Silvretta - weniger stark als im Vorjahr. In den südlichen Regionen war er

wiederum deutlich stärker ausgeprägt als in den nördlichen. Das ungleiche Ausmass des Schwundes ergab sich hauptsächlich aus unterschiedlichen Verhältnissen am Winterende mit durchwegs normaler, im Süden nahezu durchschnittlicher, im Norden mässig überdurchschnittlicher Mächtigkeit der Schneedecke. Trotz spätem Beginn und kurzer Dauer der Schnee- und Gletscherschmelze führte im Hochsommer dauerhafte grosse Wärme, deren Wirkung durch eine Saharastaublage erheblich verstärkt war, überall zu ungewöhnlich starkem Ausapern und äusserst intensivem Abschmelzen der Gletscher. Geringer Firnzuwachs im Nährgebiet und extrem niedrige Fliessgeschwindigkeiten des Eises vor allem im Zehrgebiet erzeugten allenthalben ausserordentlich starken Dickenschwund.

Nach sieben aufeinanderfolgenden Jahren mit zu mildem Winter und zu warmem Sommer weist auch das Berichtsjahr erhebliche, im Hochsommer sehr grosse Wärmeüberschüsse auf. Im Gegensatz zu den durch Schneemangel geprägten Wintern der Vorjahre hatte die Schneedecke im Berichtsjahr während des ganzen Winters eine normale bis übernormale Mächtigkeit, wurde jedoch im Laufe des Sommers auf manchen Gletschern praktisch restlos verflüssigt, nebst grossen Mengen älterer Firn- und Eismassen. Die Gletscher- und Wasserhaushaltsrechnungen zeigen, dass der von 1965 bis 1985 entstandene Massenzuwachs seither durch Schwund bereits wieder aufgezehrt, teilweise sogar überkompensiert worden ist. Der Längenzuwachs ist bei den einzelnen Gletschern entsprechend ihrer Reaktionszeit erst teilweise rückgängig gemacht, im allgemeinen jedoch überkompensiert. Die meisten Gletscher sind also heute kleiner als je zuvor in den 112 Jahren seit Beginn der systematischen jährlichen Beobachtung oder in den 140 Jahren seit Beginn des säkularen Gletscherschwunds. Wahrscheinlich sind sie - wie der Leichenfund am Hauslabjoch im Ötztal vermuten lässt - derzeit so klein, wie sie es letztmals vor mehr als 5 Jahrtausenden gewesen sind.

## VERDANKUNGEN

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

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

## **PREFACE**

*Le contenu de cet annuaire est présenté comme dans les volumes précédents (avec cependant quelques modifications décrites ci-après), car il a été convenu que le dispositif général est à maintenir jusqu'à ce que le retard de la parution de l'annuaire par rapport aux années des relevés sera réduit à une respectivement deux années. Vu que ceci est réalisé avec ce volume, les instances responsables décideront, si des modifications sont à envisager pour les futurs volumes de l'annuaire, car il faudra aussi tenir compte des efforts entrepris par l'ASSN pour réduire les coûts des publications périodiques qu'elle subventionne. En tout cas, la rédaction des annuaires se poursuivra comme d'habitude dans l'esprit du vieux proverbe chinois: Modifier et améliorer sont deux choses distinctes.*

*Pour le présent annuaire, les modifications ou corrections suivantes sont à noter:*

- *Les statistiques sur les variations en longueur (chap. 3) se basent, pour la première fois, sur le réseau d'observations élargi d'une unité (glacier de Croslina) à 121 langues glaciaires.*
- *Le tableau 5.2 contient les valeurs des années du rapport ainsi que celles des exercices précédents 1987/88 et 1988/89 omises par erreur dans le dernier volume de l'annuaire.*

## 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 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, 1991 et 1992].*

*Le présent volume (111<sup>e</sup> et 112<sup>e</sup> rapports) concerne les années 1989/90 et 1990/91.*

*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 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 les programmes de recherches à long terme cités dans l'introduction (chap. 5.1). La contribution des VAW (chap. 5.2 et 5.3) est basée sur des données traitées par M. Funk (glaciers de Gries et de Silvretta, bassin versant de l'Aegina) et par M. Aellen (glaciers d'Aletsch, de Limmern et de Plattalva, bassins versants de la Massa et du Rhône). 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 sur l'accumulation nivale (chap. 5.5) sont effectués sur les glaciers et par les collaborateurs cités dans les chapitres respectifs (chap. 5.5.2-5.5.4).*

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

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

## RESUME

1989/90

*Dans le cadre des observations annuelles nécessaires à l'étude des variations des glaciers des Alpes suisses, on a mesuré, en automne 1990, pour la 111<sup>e</sup> fois consécutive depuis 1880, 111 langues glaciaires, parmi lesquelles 14 ont avancé, 91 ont reculé et 6 sont restées stationnaires. Ce résultat montre que l'exercice 1989/90 se range parmi les années de retrait prononcé. Celles-ci, fréquentes entre 1930 et 1964, ne s'étaient pas reproduites depuis lors. Les variations de masse ont été estimées dans 5 cas pour les glaciers tout entiers, et dans 7 autres, de manière partielle ou à des points de mesure isolés. Le résultat général est une ablation plus importante que durant chacune des 15 dernières années et un glacier se signale même par une diminution de volume la plus élevée depuis 29 ans. Sur les régions méridionales et orientales des Alpes, les pertes se sont révélées aussi fortes qu'en 1947, année exceptionnelle à cet égard, alors qu'elles atteignent la moitié de cette valeur seulement dans le nord et l'ouest du massif alpin. Ces différences régionales s'expliquent par les conditions d'enneigement de la fin de l'hiver, le manteau nival étant déficitaire partout, mais plus fortement au sud qu'au nord. Le début précoce de la fonte des neiges et les longues séquences de chaleur du plein été ont provoqué partout une rapide disparition de la couverture neigeuse et une ablation active des glaciers. L'accroissement très faible des névés de la zone d'alimentation et la vitesse d'écoulement extrêmement faible de la glace dans la zone de fusion ont contribué partout à un fort déséquilibre en faveur de l'ablation. Il en résulte que l'épaisseur des glaciers a diminué fortement en tous lieux, d'un à deux mètres en moyenne, et jusqu'à plusieurs mètres en certains endroits.*

*Pour la septième fois consécutive, cet exercice est caractérisé par un hiver trop doux et un été trop chaud. C'est l'année la plus chaude et, surtout, la plus sèche de cette séquence. Les conditions climatiques défavorables à l'avance des glaciers et la forte décrue observée sont analogues à celles de la plupart des années entre 1930 et 1964. Cette période de retrait, la plus longue et la plus prononcée depuis le début des observations en 1880, a réduit l'extension des glaciers des Alpes suisses à un minimum jamais atteint depuis le Moyen Age. L'avance engendrée par les années "grasses" de la crue de 1980 a été en grande partie annulée par les "sept années maigres" de la décennie qui vient de se terminer, et l'extension actuelle des glaciers correspond à peu près à l'état de leur grandeur minimale au début de la période de crue récente.*

1990/91

*Dans le cadre des observations annuelles nécessaires à l'étude des variations des glaciers des Alpes suisses, on a mesuré, en automne 1991, pour la 112<sup>e</sup> fois consécutive, 109 langues glaciaires, parmi lesquelles 8 ont avancé, 100 ont reculé et 1 est restée stationnaire. Ce résultat montre que l'exercice 1990/91 se range parmi les années de retrait prononcé. Celles-ci se sont produites en moyenne une fois tous les 4 à 12 ans depuis 1880. Les variations de masse ont été estimées dans 3 cas pour les glaciers tout entiers, et dans 7 autres, de manière partielle ou à des points isolés. Le résultat général est une ablation plus importante que durant la plupart des 30 années précédentes, mais il est inférieur à celui de l'année dernière,*

*sauf pour le glacier de la Silvretta. Sur les régions méridionales des Alpes, les pertes se sont révélées à nouveau nettement plus importantes que sur le nord du massif alpin. Les inégalités observées dans ce retrait général s'expliquent surtout par des différences régionales du manteau neigeux à la fin de l'hiver, son épaisseur étant presque normale au sud et modérément excédentaire au nord. Malgré un début tardif et une courte durée de la période de fonte de la neige et de la glace, les grosses chaleurs prolongées du plein été, sensiblement activées par le dépôt d'une couche de poussière du Sahara, ont déterminé une disparition générale et inhabituelle de la neige, ainsi qu'une ablation particulièrement intense des glaciers. L'accroissement très faible des névés dans la zone d'alimentation et la vitesse d'écoulement extrêmement lente de la glace dans la zone de fusion ont conduit partout à une diminution extraordinaire de l'épaisseur des glaciers.*

*Après sept années consécutives aux hivers trop doux et aux étés trop chauds, cet exercice se caractérise à nouveau par de considérables excédents thermiques estivaux. En revanche, contrairement aux hivers précédents très pauvres en neige, celui-ci s'est caractérisé, dès son début, par un manteau neigeux normal à excédentaire. Mais il a presque entièrement disparu de la surface de nombreux glaciers l'été suivant, et même d'importantes quantités de névés anciens et de glace ont fondu également. Les calculs de bilan glaciaire et hydrologique montrent que l'ablation a déjà entièrement, voire plus qu'épuisé les réserves accumulées entre 1965 et 1985. Quant à l'avance qu'elles ont engendrée, elle a été en général plus qu'annulée, sauf pour quelques glaciers où elle ne l'a été qu'en partie, en raison de leur temps de réaction plus long. Les glaciers sont donc, en majorité, plus petits aujourd'hui que durant les 112 années écoulées depuis le début des observations annuelles systématiques, et même que depuis 140 ans, lorsque a commencé leur retrait séculaire actuel. Leurs dimensions sont probablement aussi réduites maintenant qu'il y a cinq millénaires environ; c'est ce que laisse supposer la découverte d'un cadavre de cet âge au Hauslabjoch, dans l'Oetztal.*

## REMERCIEMENTS

*La Commission des glaciers remercie tous les observateurs et toutes les autres personnes ou institutions qui apportent, chaque année ou occasionnellement, leur contribution à ses relevés, ses recherches ou ses rapports. Elle remercie en particulier les observateurs, les collaborateurs et les membres de la commission cités dans la chronique des glaciers ou ailleurs dans cet annuaire. 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 services que, bien entendu, nous apprécions toujours, mais assez souvent sans l'exprimer.*

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

# INHALT

<b>1. KLIMA UND WITTERUNG</b>	<b>1</b>
1.1 Einleitung	1
1.2 Klima und Witterung 1989/90	3
1.3 Klima und Witterung 1990/91	5
<b>2. CHRONIK</b>	<b>23</b>
2.1 Tätigkeit und Ereignisse 1989/90	23
2.2 Tätigkeit und Ereignisse 1990/91	26
<b>3. LÄNGENÄNDERUNG</b>	<b>41</b>
3.1 Einleitung	41
3.2 Längenänderung 1989/90	42
3.3 Längenänderung 1990/91	43
3.4 Bemerkungen zu einzelnen Gletschern	59
<b>4. BILDTEIL</b>	<b>81</b>
4.1 Bildfolge 1989/90	81
4.2 Bildfolge 1990/91	85
<b>5. MASSENHAUSHALT</b>	<b>87</b>
5.1 Einleitung	87
5.2 Massenänderung 1989/90	89
5.3 Massenänderung 1990/91	91
5.4 Aaregletscher	106
5.5 Schnee- und Firnzuwachs	110
5.5.1 Einleitung	110
5.5.2 Clariden	110
5.5.3 Silvretta und Engadin	114
5.5.4 Jungfraufirn (Aletschgletscher)	118
5.5.5 Accumulation nivale (Aperçu)	120
<b>6. SUMMARY</b>	<b>121</b>
6.1 Introduction	121
6.2 Climate and Weather	122
6.3 Chronicle	122
6.4 Length variations	122
6.5 Photo Section	123
6.6 Mass Balance	123
<b>7. LITERATUR</b>	<b>124</b>

## CONTENU

<b>1. CONDITIONS CLIMATIQUES</b>	<b>7</b>
1.1 Introduction	7
1.2 Conditions climatiques 1989/90	9
1.3 Conditions climatiques 1990/91	12
<b>2. CHRONIQUE</b>	<b>29</b>
2.1 Activité et événements 1989/90	29
2.2 Activité et événements 1990/91	32
<b>3. VARIATIONS DE LONGUEUR</b>	<b>45</b>
3.1 Introduction	45
3.2 Variations de longueur 1989/90	46
3.3 Variations de longueur 1990/91	48
3.4 Remarques concernant des glaciers individuels	59
<b>4. ILLUSTRATIONS PHOTOGRAPHIQUES</b>	<b>83</b>
4.1 Photos 1989/90	83
4.2 Photos 1990/91	86
<b>5. BILANS DE MASSE</b>	<b>93</b>
5.1 Introduction	93
5.2 Bilan de masse 1989/90	94
5.3 Bilan de masse 1990/91	95
5.4 Glaciers de l'Aar	106
5.5 Accumulation nivale	110
5.5.1 Introduction	110
5.5.2 Clariden	110
5.5.3 Silvretta et Engadine	114
5.5.4 Jungfraufirn (Glacier d'Aletsch)	118
5.5.5 Accumulation nivale (Aperçu)	120
<b>6. SUMMARY</b>	<b>121</b>
6.1 Introduction	121
6.2 Climate and Weather	122
6.3 Chronicle	122
6.4 Length Variations	122
6.5 Photo Section	123
6.6 Mass Balance	123
<b>7. REFERENCES</b>	<b>124</b>

# TABLE OF CONTENTS

<b>1. CLIMATE AND WEATHER</b>	<b>1</b>
1.1 Introduction	1
1.2 Climate and Weather 1989/90	3
1.3 Climate and Weather 1990/91	5
<b>2. CHRONICLE</b>	<b>23</b>
2.1 Activities and Events 1989/90	23
2.2 Activities and Events 1990/91	26
<b>3. LENGTH VARIATIONS</b>	<b>41</b>
3.1 Introduction	41
3.2 Length Variations 1989/90	42
3.3 Length Variations 1990/91	43
3.4 Remarks on individual Glaciers	59
<b>4. PHOTO SECTION</b>	<b>81</b>
4.1 Photos 1989/90	81
4.2 Photos 1990/91	85
<b>5. MASS BALANCE</b>	<b>87</b>
5.1 Introduction	87
5.2 Mass Balance 1989/90	89
5.3 Mass Balance 1990/91	91
5.4 Aare Glaciers	106
5.5 Snow and Firn Accumulation	110
5.5.1 Introduction	110
5.5.2 Clariden Glacier	110
5.5.3 Silvretta Glacier and Engadine Region	114
5.5.4 Jungfraufirn (Aletsch Glacier)	118
5.5.5 Accumulation nivale (Aperçu)	120
<b>6. SUMMARY</b>	<b>121</b>
6.1 Introduction	121
6.2 Climate and Weather	122
6.3 Chronicle	122
6.4 Length Variations	122
6.5 Photo Section	123
6.6 Mass Balance	123
<b>7. LITERATURE</b>	<b>124</b>

## TABELLEN

<b>Tabelle 1.1:</b>	Lufttemperatur 1990 - Gradtagssummen Mai-Oktober	14
	a) Absolute Werte	14
	b) Relative Werte	14
<b>Tabelle 1.2:</b>	Lufttemperatur 1991 - Gradtagssummen Mai-Oktober	15
	a) Absolute Werte	15
	b) Relative Werte	15
<b>Tabelle 2.1:</b>	Vermessungsflüge 1990 und 1991	35
	a) Jährlich	35
	b) Mehrjährlich	38
<b>Tabelle 3.1:</b>	Längenänderung 1989/90 - Zusammenfassungen	50
	a) Einzugsgebiete	50
	b) Gebirgsregionen	50
<b>Tabelle 3.2:</b>	Längenänderung 1990/91 - Zusammenfassungen	51
	a) Einzugsgebiete	51
	b) Gebirgsregionen	51
<b>Tabelle 3.3:</b>	Längenänderung 1989/90 und 1990/91	55
<b>Tabelle 5.1:</b>	Massenänderung 1989/90 und 1990/91	98
<b>Tabelle 5.2:</b>	Wasserhaushalt vergletschter Einzugsgebiete 1989/90 und 1990/91	99
	a) Ägina (Griesgletscher)	99
	b) Massa (Aletschgletscher)	100
	c) Rhone (bis Genfersee)	101
<b>Tabelle 5.3:</b>	Griesgletscher (Ägina) - Massenänderung 1989/90 und 1990/91 in Höhenstufen	104
<b>Tabelle 5.4:</b>	Silvrettagletscher - Massenänderung 1989/90 und 1990/91 in Höhenstufen	105
<b>Tabelle 5.5:</b>	Aaregletscher 1989/90	108
	a) Dickenänderung und Bewegung	108
	b) Flächen- und Volumenänderung	108
<b>Tabelle 5.6:</b>	Aaregletscher 1990/91	109
	a) Dickenänderung und Bewegung	109
	b) Flächen- und Volumenänderung	109

<b>Tabelle 5.7:</b>	Claridenfirn 1989/90	112
	a) Schnee- und Firnzuwachs, Dickenänderung und Bewegung	112
	b) Saison- und Jahresniederschlag	112
<b>Tabelle 5.8:</b>	Claridenfirn 1990/91	113
	a) Schnee- und Firnzuwachs, Dickenänderung und Bewegung	113
	b) Saison- und Jahresniederschlag	113
<b>Tabelle 5.9:</b>	Silvrettagletscher - Firnzuwachs 1989/90 und 1990/91	116
<b>Tabelle 5.10:</b>	Berninagebiet	117
	a) Firnzuwachs und Dickenänderung 1989/90 und 1990/91	117
	b) Firnzuwachs - Mehrjahreswerte	117
<b>Tabelle 5.11:</b>	Jungfraufirn - Schnee- und Firnzuwachs, Dickenänderung und Bewegung 1989/90	119
<b>Tabelle 5.12:</b>	Jungfraufirn - Schnee- und Firnzuwachs, Dickenänderung und Bewegung 1990/91	119

## TABLEAUX

<b>Tableau 1.1:</b>	<i>Température de l'air 1990 - Sommes des degrés-jour mai-octobre</i>	14
	<i>a) Valeurs absolues</i>	14
	<i>b) Valeurs relatives</i>	14
<b>Tableau 1.2:</b>	<i>Température de l'air 1991 - Sommes des degrés-jour mai-octobre</i>	15
	<i>a) Valeurs absolues</i>	15
	<i>b) Valeurs relatives</i>	15
<b>Tableau 2.1:</b>	<i>Vols photogrammétriques 1990 et 1991</i>	35
	<i>a) Annuels</i>	35
	<i>b) Pluriannuels</i>	38
<b>Tableau 3.1:</b>	<i>Variations de longueur 1989/90 - Récapitulations</i>	50
	<i>a) Bassins versants</i>	50
	<i>b) Régions orographiques</i>	50
<b>Tableau 3.2:</b>	<i>Variations de longueur 1990/91 - Récapitulations</i>	51
	<i>a) Bassins versants</i>	51
	<i>b) Régions orographiques</i>	51
<b>Tableau 3.3:</b>	<i>Variations de longueur 1989/90 et 1990/91</i>	55
<b>Tableau 5.1:</b>	<i>Bilans de masse 1989/90 et 1990/91</i>	98
<b>Tableau 5.2:</b>	<i>Bilans hydrologiques 1989/90 et 1990/91 de bassins versants en-glacés</i>	99
	<i>a) Aegina (glacier de Gries)</i>	99
	<i>b) Massa (glaciers d'Aletsch)</i>	100
	<i>c) Rhône (à l'amont du Léman)</i>	101
<b>Tableau 5.3:</b>	<i>Glacier de Gries (Aegina) - Bilans de masse 1989/90 et 1990/91 en fonction de l'altitude</i>	104
<b>Tableau 5.4:</b>	<i>Glacier de Silvretta - Bilans de masse 1989/90 et 1990/91 en fonction de l'altitude</i>	105
<b>Tableau 5.5:</b>	<i>Glaciers de l'Aar 1989/90</i>	108
	<i>a) Variations d'épaisseur et du mouvement</i>	108
	<i>b) Variations de surface et du volume</i>	108
<b>Tableau 5.6:</b>	<i>Glaciers de l'Aar 1990/91</i>	109
	<i>a) Variations d'épaisseur et du mouvement</i>	109
	<i>b) Variations de surface et du volume</i>	109

<b>Tableau 5.7:</b> <i>Glacier de Clariden 1989/90</i>	112
a) <i>Accumulation nivale, variations d'épaisseur et mouvement</i>	112
b) <i>Pluviosités saisonnière et annuelle</i>	112
<b>Tableau 5.8:</b> <i>Glacier de Clariden 1990/91</i>	113
a) <i>Accumulation nivale, variations d'épaisseur et mouvement</i>	113
b) <i>Pluviosités saisonnière et annuelle</i>	113
<b>Tableau 5.9:</b> <i>Glacier de Silvretta - Accumulation nivale 1989/90 et 1990/91</i>	116
<b>Tableau 5.10:</b> <i>Massif de la Bernina</i>	117
a) <i>Accumulation nivale et variations d'épaisseur 1989/90 et 1990/91</i>	117
b) <i>Accumulation nivale - Valeurs pluriannuelles</i>	117
<b>Tableau 5.11:</b> <i>Jungfraufirn - Accumulation nivale, variations d'épaisseur et mouvement 1989/90</i>	119
<b>Tableau 5.12:</b> <i>Jungfraufirn - Accumulation nivale, variations d'épaisseur et mouvement 1990/91</i>	119

## TABLES

<b>Table 1.1:</b>	Air temperature 1990 - Degree-days Mai-October	14
	a) Absolute values	14
	b) Relative values	14
<b>Table 1.2:</b>	Air temperature 1991 - Degree-days Mai-October	15
	a) Absolute values	15
	b) Relative values	15
<b>Table 2.1:</b>	Aerial survey of glaciers 1990 and 1991	35
	a) Annual intervals	35
	b) Intervals of several years	38
<b>Table 3.1:</b>	Length variations 1989/90 - Summary	50
	a) River basins	50
	b) Mountain regions	50
<b>Table 3.2:</b>	Length variations 1990/91 - Summary	51
	a) River basins	51
	b) Mountain regions	51
<b>Table 3.3:</b>	Length variations 1989/90 and 1990/91	55
<b>Table 5.1:</b>	Mass balances 1989/90 and 1990/91	98
<b>Table 5.2:</b>	Hydrological balances 1989/90 and 1990/91 of glaciated river basins	99
	a) Aegina (Gries glacier)	99
	b) Massa (Aletsch glaciers)	100
	c) Rhone (above lake of Geneva)	101
<b>Table 5.3:</b>	Gries glacier (Aegina) - Mass balances 1989/90 and 1990/91 versus altitude	104
<b>Table 5.4:</b>	Silvretta glacier - Mass balances 1989/90 and 1990/91 versus altitude	105
<b>Table 5.5:</b>	Oberaar and Unteraar glaciers 1989/90	108
	a) Change of thickness and movement	108
	b) Change of area and volume	108
<b>Table 5.6:</b>	Oberaar and Unteraar glaciers 1990/91	109
	a) Change of thickness and movement	109
	b) Change of area and volume	109

<b>Table 5.7:</b>	Clariden glacier 1989/90	112
	a) Snow and firn accumulation, change of thickness and movement	112
	b) Seasonal and annual precipitation	112
<b>Table 5.8:</b>	Clariden glacier 1990/91	113
	a) Snow and firn accumulation, change of thickness and movement	113
	b) Seasonal and annual precipitation	113
<b>Table 5.9:</b>	Silvretta glacier - Firn accumulation 1989/90 and 1990/91	116
<b>Table 5.10:</b>	Glaciers of the Bernina group	117
	a) Firn accumulation and change of thickness 1989/90 and 1990/91	117
	b) Firn accumulation - Values of several years	117
<b>Table 5.11:</b>	Jungfraufirn - Snow and firn accumulation, change of thickness and movement 1989/90	119
<b>Table 5.12:</b>	Jungfraufirn - Snow and firn accumulation, change of thickness and movement 1990/91	119

## ABBILDUNGEN

<b>Abbildung 1.1:</b> Witterung 1989/90	16
a) Zürich: Lufttemperatur und Niederschlag	16
b) Payerne: Nullgrad-Isotherme	16
c) Jungfraujoch: Lufttemperatur	17
d) Säntis: Niederschlag	17
<b>Abbildung 1.2:</b> Witterung 1990/91	18
a) Zürich: Lufttemperatur und Niederschlag	18
b) Payerne: Nullgrad-Isotherme	18
c) Jungfraujoch: Lufttemperatur	19
d) Säntis: Niederschlag	19
<b>Abbildung 1.3:</b> Klima 1989/90 - Abweichungen vom Normalwert 1901-1960	20
a) Jahresniederschlag 1989/90	20
b) Sommertemperatur 1990	20
<b>Abbildung 1.4:</b> Klima 1990/91 - Abweichungen vom Normalwert 1901-1960	21
a) Jahresniederschlag 1990/91	21
b) Sommertemperatur 1991	21
<b>Abbildung 3.1:</b> Gletscherbeobachtungsnetz 1990	52
a) Beobachtungen 1990	52
b) Längenänderungen 1990	52
<b>Abbildung 3.2:</b> Gletscherbeobachtungsnetz 1991	53
a) Beobachtungen 1991	53
b) Längenänderungen 1991	53
<b>Abbildung 3.3:</b> Längenänderung - Statistik 1880-1991	54
a) Stichproben	54
b) Anteile der wachsenden, stationären und schwindenden Gletscher	54
c) Mittlere Längenänderung	54
<b>Abbildung 5.1:</b> Einzugsgebiet Massa (Aletschgletscher) - Wasserhaushalt 1989/90 und 1990/91	102
a) Niederschlag, Abfluss und Reservenänderung - Tageswerte	102
b) Reservenänderung - Jahresgang und Vergleichswerte	102
<b>Abbildung 5.2:</b> Einzugsgebiet Rhone (bis Genfersee) - Reservenänderung 1989/90 und 1990/91: Jahresgang und Vergleichswerte	103
<b>Abbildung 5.3:</b> Aaregletscher - Lage der Querprofile	107

## FIGURES

<b>Figure 1.1:</b> Conditions météorologiques 1989/90	16
a) Zurich: Température de l'air et pluviosité	16
b) Payerne: Isotherme zéro degré	16
c) Jungfrauoch: Température de l'air	17
d) Saentis: Pluviosité	17
<b>Figure 1.2:</b> Conditions météorologiques 1990/91	18
a) Zurich: Température de l'air et pluviosité	18
b) Payerne: Isotherme zéro degré	18
c) Jungfrauoch: Température de l'air	19
d) Saentis: Pluviosité	19
<b>Figure 1.3:</b> Conditions climatiques 1989/90 - Ecart par rapport à la norme 1901-1960	20
a) Pluviosité 1989/90	20
b) Température estivale 1990	20
<b>Figure 1.4:</b> Conditions climatiques 1990/91 - Ecart par rapport à la norme 1901-1960	21
a) Pluviosité 1990/91	21
b) Température estivale 1991	21
<b>Figure 3.1:</b> Réseau d'observations glaciaires 1990	52
a) Observations 1990	52
b) Variations de longueur 1990	52
<b>Figure 3.2:</b> Réseau d'observations glaciaires 1991	53
a) Observations 1991	53
b) Variations de longueur 1991	53
<b>Figure 3.3:</b> Variations de longueur - Statistique 1880-1991	54
a) Echantillons	54
b) Parts relatives des glaciers en crue, stationnaires ou en décrue	54
c) Variation moyenne de longueur	54
<b>Figure 5.1:</b> Bassin versant de la Massa (glaciers d'Aletsch) - Bilans hydrologiques 1989/90 et 1990/91	102
a) Précipitations, débits et variations des réserves en eau - Valeurs quotidiennes	102
b) Variations des réserves en eau - Evolution et valeurs statistiques	102
<b>Figure 5.2:</b> Bassin versant du Rhône (à l'amont du Léman) - Variations des réserves en eau 1989/90 et 1990/91: Evolution et valeurs statistiques	103
<b>Figure 5.3:</b> Glaciers de l'Aar - Situation des profils transversaux	107

## FIGURES

<b>Figure 1.1:</b> Weather 1989/90	16
a) Zurich: Air temperature and precipitation	16
b) Payerne: Zero degree isothermal surface	16
c) Jungfrauoch: Air temperature	17
d) Saentis: Precipitation	17
<b>Figure 1.2:</b> Weather 1990/91	18
a) Zurich: Air temperature and precipitation	18
b) Payerne: Zero degree isothermal surface	18
c) Jungfrauoch: Air temperature	19
d) Saentis: Precipitation	19
<b>Figure 1.3:</b> Climate 1989/90 - Deviations from the norm 1901-1960	20
a) Annual precipitation 1989/90	20
b) Mean summer air temperature 1990	20
<b>Figure 1.4:</b> Climate 1990/91 - Deviations from the norm 1901-1960	21
a) Annual precipitation 1990/91	21
b) Mean summer air temperature 1991	21
<b>Figure 3.1:</b> Glacier observation network 1990	52
a) Observed glaciers 1990	52
b) Length variations 1990	52
<b>Figure 3.2:</b> Glacier observation network 1991	53
a) Observed glaciers 1991	53
b) Length variations 1991	53
<b>Figure 3.3:</b> Length variations - Statistics 1880-1991	54
a) Samples	54
b) Percentages of advancing, stationary and retreating glaciers	54
c) Mean length variations	54
<b>Figure 5.1:</b> Massa river basin (Aletsch glaciers) - Hydrological balances 1989/90 and 1990/91	102
a) Precipitation, run-off and variations of water storage - Daily values	102
b) Variations of water storage - Evolution and statistical values	102
<b>Figure 5.2:</b> Rhone river basin (above Lake of Geneva) - Variations of water storage 1989/90 and 1990/91: Evolution and statistical values	103
<b>Figure 5.3:</b> Oberaar and Unteraar glaciers - Location of the profiles	107

# BILDER

## 1989/90

- Bilder 1 - 5:** Gletscherschwund im Val de Bagnes 81  
**Bilder 6 - 16:** Tiefbohrungen im Grossen Aletschgletscher 81

## 1990/91

- Bilder 1 - 3:** Radarsondierungen auf dem Griesgletscher (Ägina) 85  
**Bilder 4 und 5:** Mont Durandgletscher 85  
**Bild 6:** Zmuttgletscher 85  
**Bilder 7 - 11:** Oberer Grindelwaldgletscher 85

# ILLUSTRATIONS

## 1989/90

- Photos 1 - 5:* *Décrue des glaciers du val de Bagnes* 83  
*Photos 6 - 16:* *Forages profonds dans le grand glacier d'Aletsch* 83

## 1990/91

- Photos 1 - 3:* *Sondages radio-électriques au glacier de Gries (Aegina)* 86  
*Photos 4 et 5:* *Glacier du Mont Durand* 86  
*Photo 6:* *Glacier de Zmutt* 86  
*Photos 7 - 11:* *Glacier supérieur de Grindelwald* 86

## PICTURES

### 1989/90

<b>Photos 1 - 5:</b>	Shrinking glaciers in Val de Bagnes (Valais)	81
<b>Photos 6 - 16:</b>	Deep drilling on Great Aletsch glacier (Valais)	81

### 1990/91

<b>Photos 1 - 3:</b>	Radio-echo sounding on Gries glacier (Aegina, Valais)	85
<b>Photos 4 and 5:</b>	Mont Durand glacier (Valais)	85
<b>Photo 6:</b>	Zmutt glacier (Valais)	85
<b>Photos 7 - 11:</b>	Upper Grindelwald glacier (Bernese Oberland)	85

# 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 Jungfrauoch, indem für jeden Tag der aktuelle Wert [SMA, 1989-91a] und der langjährige Mittelwert [Schüepp, 1972] aufgezeichnet sind. Der Niederschlag ist angegeben durch die Tagessummen [SMA, 1989-91b] 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, 1989-91c] 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, 1989-91d] enthalten. Um die klimatischen Bedingungen, denen die Gletscher einer Region oder einzelne Gletscher in den Berichtsjahren ausgesetzt waren, genauer zu beschreiben oder zahlenmässig zu erfassen, ist auf die Ergebnisse der Temperatur- und vor allem der Niederschlagsmessungen an möglichst vielen, von Fall zu Fall auszuwählenden Stationen zurückzugreifen.

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

delt es sich um Extremwerte, die nach der Statistik seltener als einmal in 45 Jahren zu erwarten sind. Sie werden in den stark vereinfachten Darstellungen nur ausnahmsweise - bei gehäuftem Auftreten wie z.B. im Fall der Sommertemperaturen 1991 - als besondere Zone ausgeschieden.

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, 1991 und 1992].

Die Angaben über die Abflussverhältnisse in den vergletscherten Einzugsgebieten [LHG, 1989-91] sind im vorliegenden Jahrbuch beschränkt auf kurze Hinweise im Text (Kap. 1.2 und 1.3), auf die Daten in Tabelle 5.2 und auf die Darstellung in Abbildung 5.1 (Kap. 5).

Die Beschreibung der Klima- und Witterungsverhältnisse (Kap. 1.2 und 1.3) entspricht bis auf notwendige Anpassungen der publizierten Fassung [Aellen, 1991 und 1992].

## 1.2 KLIMA UND WITTERUNG 1989/90

Der Witterungsablauf im Berichtsjahr ist wie in den vorangehenden sechs Jahren oder in noch stärkerem Masse geprägt durch milde Trockenperioden im Früh- und Hochwinter, kühle Niederschlagsperioden im Spätwinter und Frühjahr, Wärme und Trockenheit im Sommer, frühen Schneefall im Herbst und dennoch spätes Einwintern. Hinsichtlich des Massenhaushalts der Gletscher ist das Bilanzjahr 1989/90 das magerste Jahr in der Reihe der "sieben mageren Jahre" seit 1983, da - im Gegensatz zu den Vorjahren - grosse Schneefälle am Winterende ausgeblieben sind.

Der Witterungsverlauf des Berichtsjahrs vom September 1989 bis Oktober 1990 ist veranschaulicht in der Abbildung 1.1. Im Berichtsjahr war es in allen Landesteilen und in allen Monaten ausser April, Juni und September fast dauernd zu warm, strenge Kälte trat selten auf und währte stets nur wenige Tage. Die Niederschlagsreihe des Säntis, die für die niederschlagsreichen Gebiete am Alpennordrand repräsentativ ist, zeigt zahlreiche Tage mit geringem Niederschlag während der Trockenperioden der übrigen Gebiete.

Das Klima des Berichtsjahres ist in Abbildung 1.3 veranschaulicht. Die Summe der Niederschläge von Oktober 1989 bis September 1990 erreichte in den Berner Alpen wie in der nördlichen Landeshälfte annähernd den Normalwert, den sie in einer schmalen Zone am nördlichen Alpenrand weit, in den Waadtländer Alpen und in angrenzenden Teilen der Berner und Walliser Alpen sehr weit überstieg. Im ost- und südalpinen Bereich dagegen blieb sie weit, in den Föhngebieten der Zentralschweiz, im Tessin und im Hinterrheintal sehr weit darunter. Die mittlere Lufttemperatur von Mai bis September 1990 war überall deutlich höher als normal. Auch in den Alpen war es durchwegs viel wärmer, meistenorts - ausser am Alpennordhang zwischen Genfer- und Vierwaldstättersee, im Nordtessin und in Ostbünden - sogar sehr viel wärmer als in normalen Sommern.

### Winter 1989/90

Ausnehmend lange, sonnige und warme Trockenperioden im Herbst 1989 haben das Einwintern je nach Höhenlage und Region unterschiedlich stark verzögert. Starke Niederschläge, mit Schneefall bis in die Alpentäler am 8. Oktober und 6. November, brachten zunächst im nordalpinen, dann auch im südalpinen Gletschergebiet das Ende der Schmelzperiode 1989, aber noch kaum namhaften Schneezuwachs. Mässigen Zuwachs erhielten zwischen Mitte Dezember und Weihnachten nur die hochgelegenen Gebiete. Unterhalb 2000 m Meereshöhe war der Winter bis anfangs Februar äusserst schneearm, da es im Januar überall ausser im Süden sehr trocken und vor allem im Berggebiet viel zu warm war. Noch wärmer war der Februar auf der Alpennordseite und weitenteils in den Alpen, wo mit einem Monatsmittel um 5-7 °C über dem Normalwert der Höchstwert der Messreihe seit 1864 (in Basel sogar seit 1755) zu verzeichnen war. Tiefdrucklagen mit stürmischen Westwinden, die vor allem im Alpengebiet enorme Waldschäden verursachten, brachten Mitte und Ende Februar sehr ergiebige Niederschläge, die zeitweise jedoch bis 2000 m Meereshöhe als Regen fielen. Dabei erhielten Jura, Voralpen und Alpen innert weniger Tage das Zwei- bis Vierfache der normalen Monatsmenge und entsprechend starken Schneezuwachs in den höheren Lagen (z.B. Weissfluhjoch: 229 cm Neuschnee in 3 Tagen), der die Schneedecke auf annähernd normale Mächtigkeiten anwachsen liess. Mässigen weiteren Zuwachs ergaben Niederschlagsperioden im

vorwiegend milden und trockenen März und im kühlen, oft regnerischen, zeitweise gewitterhaften April. Die Schneedecke der tieferen Lagen wurde bereits im März weitgehend abgebaut. Frühlingswärme am Anfang und in der zweiten Monatshälfte des Mai brachte die Schneeschmelze auch in den höheren Lagen frühzeitig in Gang. Im Hochgebirge brachte die kühle Niederschlagsperiode im ersten Junidrittel nochmals erheblichen Schneezuwachs.

## **Sommer 1990**

Dauerhafte Wärme und grosse, gebietsweise durch starke Gewitterregen verminderte Trockenheit prägten das Wetter in den Hochsommermonaten Juli und August. Im Vergleich dazu wurden Juni und September nach mehreren Kaltlufteinbrüchen als nasskalte Monate empfunden, obwohl sie annähernd normale Monatswerte aufwiesen. Über Payerne lag die Nullgradgrenze der Lufttemperatur bereits in der letzten Juniwoche in Höhen über 4000 m. In der ersten Julidekade sank sie nochmals kräftig ab, in den Alpen mit Schneefall bis 2000 m am 10. Juli. Danach verharrte sie bis Ende August fast dauernd über 3500 m und zeitweise wochenlang über 4000 m. Bei ihrer höchsten Lage (4800 m) am 23. August stieg die Lufttemperatur auf dem Jungfrauojoch (3580 m) bis 9.1 °C, das Tagesmittel lag 8.2 °C über dem Normalwert und 0.3 °C unter dem Höchstwert (6.8 °C am 27. Juni 1947). In der extremen Wärme schmolz die Winterschneedecke überaus rasch bis in grosse Höhen ab. Auf zahlreichen Gletschern ist sie restlos verschwunden, womit das Zehrgebiet die gesamte Gletscherfläche umfasste. Auf allen andern Gletschern überdauerte sie den Sommer in stark verminderter Mächtigkeit und in einem auf wenige Zehntel der Oberfläche eingeeengten Nährgebiet. Als helle, oft in Flecken aufgeteilte Schneefläche war dieses in der zweiten Sommerhälfte vielfach umsäumt von gebänderten dunkleren Zonen, wo freigelegte ältere Firnschichten in auffälligen girlanden- oder ringförmigen Mustern an der Gletscheroberfläche ausstrichen.

Der Wasserabfluss aus vergletscherten Einzugsgebieten war je nach Anteil der Gletscherfläche recht unterschiedlich. Normale bis überdurchschnittliche Monatsmengen erzeugte die Schneeschmelze während der Wärmep perioden im März und Mai in allen Gebieten, die Gletscherschmelze während der Hitzeperioden im Juli und August jedoch nur in stark vergletscherten Gebieten. Unter dem Normalwert blieben die Monatsabflüsse in allen Gebieten nach den Kälteperioden im April, Juni und September, in schwach vergletscherten Gebieten ebenso nach den Trockenperioden im Juli und August. Gletscherbäche wie z.B. die Massa führen im Juli und August in der Regel fast doppelt so viel Wasser wie im Juni und September und etwa sechsmal so viel wie im Mai und Oktober. Entsprechend dem Gewicht der Monatswerte haben sich für den Sommer 1990 (Mai bis September) wie im Juli und August überdurchschnittliche bis normale Abflusswerte in stark vergletscherten, unterdurchschnittliche Werte in schwach vergletscherten Gebieten ergeben. Die Gletscherschmelze war auch in der ersten Hälfte des Oktobers noch kräftig wirksam. Ergiebige Niederschläge, um die Monatsmitte vor allem auf der Südseite der Alpen, am Monatsende und anfangs November auch in den übrigen Landesteilen, lieferten bereits erste Rücklagen für das Haushaltsjahr 1990/91. Mit Schneefällen bis in die Niederungen in den ersten Novembertagen nordseits und am 25. November beidseits der Alpen zog der Winter im ganzen Land viel früher und rascher ein als im Vorjahr.

### 1.3 KLIMA UND WITTERUNG 1990/91

Im Witterungsablauf unterscheidet sich das Berichtsjahr von den vorangehenden, durch Schneemangel im Frühwinter geprägten Jahren vor allem durch winterliche Verhältnisse mit wiederholten ergiebigen Schneefällen von Ende Oktober bis Mitte Januar. Einer mehrheitlich trockenen Periode mit strenger Kälte in der ersten Februarhälfte und ungewöhnlicher Wärme von Ende Februar bis Anfang April folgte ein kühles niederschlagsreiches Frühjahr mit winterlichen Verhältnissen im Hochgebirge bis zu den längsten Tagen. Fast dauernd sehr warm und vorwiegend trocken war der Sommer bis Ende September, als erste Schneefälle im Hochgebirge ziemlich unvermittelt den Winter einleiteten, der nach zeitweise mildem Herbstwetter mit den Kälteeinbrüchen im letzten Oktoberdrittel und Mitte November schrittweise im ganzen Land einzog. In Bezug auf den Massenhaushalt der Gletscher weist das Bilanzjahr 1990/91 folgende, aus den Berechnungen des täglichen Wasserhaushalts im Aletschgebiet ermittelte Besonderheiten auf. Die Zuwachsperiode von Mitte Oktober bis Mitte Juni dauerte 149 Tage, etwa 10 Tage länger als normal, und ergab überdurchschnittliche Rücklagen. Die Schwundperiode von Mitte Juni bis Ende September dauerte nur 100 Tage (normal 126 Tage), ergab in dieser Zeitspanne jedoch ebensoviel Abtrag wie die vorjährige Schmelzperiode in 153 Tagen. So ergab die Jahresbilanz entsprechend dem reichlicheren Winterzuwachs im Berichtsjahr etwas geringeren Schwund als im Vorjahr. Massgeblich beigetragen zum äusserst intensiven Schmelzen im Sommer 1991 hat der Saharastaubfall, der im März das ganze Alpengebiet überzog mit einer deutlich sichtbaren Staublage, die infolge der Trockenheit fast den ganzen Sommer durch an der Gletscheroberfläche liegen blieb.

#### Witterung

Der Witterungsverlauf des Berichtsjahrs vom September 1990 bis Oktober 1991 ist veranschaulicht in der Abbildung 1.2. Die Temperaturwerte des Berichtsjahrs lagen mehrmals während mehrerer Wochen weit über dem Normalwert, zu verschiedenen Malen, aber nur im Frühjahr für längere Dauer, auch ebenso weit darunter. Im Monatsdurchschnitt war einzig der Mai deutlich zu kalt, der März wie die Sommermonate Juli, August und September dagegen deutlich zu warm; in den übrigen Monaten glichen sich Wärme- und Kälteüberschüsse weitgehend aus. Für den Massenhaushalt der Gletscher bedeutsam waren vor allem die Kälteperiode im Frühjahr, die den Beginn der Schneeschmelze im Hochgebirge erheblich verzögert hat, und die Wärmeperiode im Sommer, die von Anfang Juli bis Ende September fast ununterbrochen sehr intensives Schmelzen bewirkt hat.

Die dargestellten Niederschlagsreihen ergeben eine Jahressumme, die in Zürich nahe am Normalwert, auf dem Säntis weit darüber liegt. Letztere ist repräsentativ für die eng begrenzten niederschlagsreichen Gebiete, wo Starkregen bei Gewittern auf der Alpennordseite vor allem im Juli, auf der Alpensüdseite vor allem im September grosse bis sehr grosse Monatsmengen erbrachten. In allen Landesteilen sehr trocken war es im Februar und August, im Süden auch im Januar, Mai und Juli.

## **Klima**

Das Klima des Berichtsjahres ist in Abbildung 1.4 veranschaulicht. Die Summe der Niederschläge von Oktober 1990 bis September 1991 wich meistenorts wenig ab vom Normalwert, der in der Westschweiz mehrheitlich leicht unterschritten, in der Ostschweiz mehrheitlich leicht übertroffen wurde. Viel Niederschlag erhielten wenige, verhältnismässig eng begrenzte Gebiete in allen Landesteilen, am meisten das obere Reusstal und das Valsertal. Wenig Niederschlag fiel in einzelnen Randregionen im Nordwesten (Jura), Süden (Vispertäler) und Südosten (Ostbünden) wie auch in enger begrenzten Gebieten im Aaretal und im Glarnerland.

Die mittlere Lufttemperatur von Mai bis September 1991 war überall deutlich höher als normal. Auch in den Alpen war es durchwegs viel wärmer, meistenorts sogar sehr viel wärmer als in normalen Sommern. Gebietsweise sind an mehreren Stationen extrem grosse Abweichungen aufgetreten, weshalb auch die Zonen der Klasse 3 ausgeschieden sind. Im allgemeinen war der Wärmeüberschuss in den Niederungen grösser als im Berggebiet, wo es im Osten wärmer war als im Westen.

# 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 Jungfrauoch, les valeurs moyennes actuelle [SMA, 1989-91a] et pluriannuelle [Schüepp, 1972] de la température de l'air. Les précipitations [SMA, 1989-91b] 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, 1989-91c]. Dans les cas d'inversions, avec isothermes de zéro degré à différentes altitudes, on a indiqué l'altitude de la plus élevée. En outre, on a indiqué, pour chaque jour également, la valeur moyenne pluriannuelle de l'altitude de zéro degré [Güller, 1978]. La courbe de ces moyennes est représentée avec toutes ses irrégularités particulières. En revanche, les courbes des moyennes pluriannuelles de la température sont lissées quelque peu.*

*Les séries ainsi représentées reflètent les fluctuations de température et la fréquence de pluviosité au cours des années du rapport et dans différentes régions climatiques de la Suisse. Cependant, le petit nombre de stations ne permet d'indiquer que par allusion la variabilité spatiale, qui est souvent très prononcée dans les situations météorologiques et dans les conditions climatiques régionales de notre pays fortement parcellé par ses montagnes et ses vallées. Des informations supplémentaires sont données, en résumé, dans le texte des chapitres suivants (chap. 1.2 et 1.3) ou se trouvent, en détail, dans les documents consultés [SMA, 1989-91d]. Dans les cas, qui demandent une description précise (verbale ou numérique) des conditions climatiques, auxquelles les glaciers ont été sujets dans une région particulière, il faut avoir recours aux sources citées et en tirer autant d'informations que possible sur les conditions locales ou régionales et surtout celles concernant le régime pluviométrique.*

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

*bles positifs ou négatifs en 4 ans. Les valeurs des classes '-1' et '+1' avec des écarts négatifs ou positifs forts apparaissent en moyenne entre quatre et douze ans, celles des classes '-2' et '+2' avec des écarts très forts à des intervalles de plus de douze ans. Dans les cas, où une telle valeur calculée se situe en dehors de ces cinq classes, il s'agit d'une valeur extrême qui apparaît à des intervalles de plus de 45 ans. Dans les figures, fortement généralisées, ces valeurs extrêmes ne sont discernées que dans les cas de fréquence aussi élevée que celle observée, par exemple, dans le cas des températures estivales en 1991.*

*Les réserves exprimées dans les rapports précédents concernant la comparabilité des données climatiques avec les données du bilan de masse sont toujours valables, tant que les remarques concernant l'homogénéité des séries d'observations, particulièrement des séries affectées par l'automatisation des observations météorologiques [Schüepf, 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, 1991 et 1992].*

*Les informations sur les débits des bassins versants englacés [LHG, 1989-91] sont réduites aux remarques faites dans le texte (chap. 1.2 et 1.3), aux données reportées dans le tableau 5.2 et représentées dans la figure 5.1 (chap. 5).*

*La description des conditions climatiques (chap. 1.2 et 1.3) est reproduite (à quelques modifications près) telle qu'elle a été publiée [Aellen, 1991 et 1992].*

## 1.2 CONDITIONS CLIMATIQUES 1989/90

*Les caractéristiques météorologiques de cette année présentent de nombreuses similitudes, parfois même plus marquées, avec celles des six années précédentes. Aux périodes douces et sèches du début et du milieu de l'hiver, ont succédé des séquences pluvieuses et fraîches à la fin de cette saison et au printemps, puis un temps très chaud et sec en été. Malgré des chutes de neige précoces, l'enneigement automnal est survenu tardivement. Le bilan de masse des glaciers en 1989/90 est le plus faible de la série des années "maigres" qui a débuté en 1983, car, au contraire des exercices précédents, les grosses chutes de neige de la fin de l'hiver ne se sont pas produites.*

*Le déroulement des conditions météorologiques de septembre 1989 à octobre 1990 est représenté à la figure 1.2. On a également reporté, à titre de comparaison, les moyennes pluriannuelles sur les graphiques de température. Durant l'exercice considéré, la température a été presque constamment trop élevée, à l'exception des mois d'avril, de juin et de septembre. Les rares périodes de froid intense n'ont duré que quelques jours. Quant au graphique des précipitations du Saentis, qui représente les conditions pluviométriques des régions pluvieuses du versant nord des Alpes, il affiche de nombreux jours de faible pluie lors des périodes sèches affectant les autres contrées.*

*La figure 1.3 montre la distribution spatiale des paramètres climatologiques. Les lames d'eau accumulées d'octobre 1989 à septembre 1990 atteignent des valeurs presque normales sur les Alpes bernoises et sur la moitié septentrionale du pays. Elles les dépassent nettement sur une bande étroite située en bordure nord des Alpes, et très fortement sur les Alpes vaudoises et sur les régions avoisinantes des cantons de Berne et du Valais. En revanche, elles sont faibles par rapport aux normes sur l'est et le sud du domaine alpin et très faibles sur les régions soumises au foehn de Suisse centrale, du Tessin et de la vallée du Rhin postérieur. La température moyenne de mai à septembre 1990 est partout bien supérieure aux moyennes pluriannuelles. Même dans les Alpes, l'été s'est révélé presque partout beaucoup plus chaud que d'habitude, à l'exception du versant nord de celles-ci entre le Léman et le lac des Quatre-Cantons, du nord du Tessin et de l'est des Grisons.*

### **Hiver 1989/90**

*Les périodes exceptionnellement longues de soleil et de chaleur de l'automne 1989 ont repoussé l'enneigement hivernal de manière très variable selon l'altitude et la région. De fortes précipitations, associées à des chutes de neige jusque dans les vallées des Alpes, ont marqué la fin de la période de fusion des glaciers de l'exercice 1989, tout d'abord le 8 octobre au nord des Alpes, puis le 6 novembre sur le versant sud. Mais elles n'ont apporté qu'un accroissement minime des réserves de neige. Entre mi-décembre et Noël celui-ci est devenu modéré pour les glaciers les plus élevés seulement. Au-dessous de 2000 m d'altitude, l'hiver s'est montré très pauvre en neige jusqu'au début de février, car le temps a été très sec partout, à l'exception des régions méridionales, et beaucoup trop chaud, surtout en montagne. En février, la température est encore montée au nord des Alpes et sur de vastes contrées du massif alpin, à tel point que la moyenne thermique de ce mois, supérieure de 5 à 7°C par rapport à la norme, est la plus élevée jamais enregistrée depuis le début des mesures en 1864 (voire depuis 1755 à Bâle). Des dépressions, associées à des vents d'ouest tempétueux qui ont causé de gros dégâts aux forêts alpines, ont apporté, mi- et fin février, des précipitations extrêmement abondantes, souvent sous forme de pluie jusque vers 2000 m d'altitude. En quelques jours, le Jura, les Préalpes et les Alpes ont reçu entre le double et le quadruple de la lame d'eau mensuelle normale. En haute altitude, ces conditions météorologiques ont fourni un accroissement important du manteau neigeux (229 cm de neige fraîche en 3 jours au Weissfluhjoch, par exemple), qui a atteint, à ce moment-là, des épaisseurs presque normales. Celui-ci s'est encore étoffé modérément lors des épisodes pluvieux du mois de mars, plutôt doux et sec, et de celui d'avril, caractérisé par un temps frais, humide et parfois orageux. A basse altitude, la couche de neige a fortement diminué en mars déjà, tandis que la température estivale précoce du début et de la seconde quinzaine de mai a déclenché très tôt la fonte des neiges aux niveaux supérieurs. En haute montagne, un dernier mais notable apport de neige est intervenu pendant la séquence pluvieuse et fraîche de la première décade de juin.*

*Eté 1990*

*Juillet et août se sont caractérisés par un temps constamment chaud et une grande sécheresse, interrompue régionalement par de violentes pluies orageuses. Par contraste, les mois de juin et de septembre ont paru froids et humides, en raison de plusieurs invasions d'air polaire, bien que leurs moyennes s'approchent des normes. Pendant la dernière semaine de juin déjà, l'isotherme de zéro degré du sondage de Payerne se situait au-dessus de 4000 m. Après une forte baisse pendant les dix premiers jours de juillet, associée à des chutes de neige sur les Alpes jusque vers 2000 m le 10, il s'est maintenu presque constamment au-dessus de 3500 m jusqu'à la fin d'août, et parfois pendant plus d'une semaine au-dessus de 4000 m. Il a atteint son altitude la plus élevée, 4800 m, le 23 août, et le thermomètre du Jungfraujoch (3580 m) a grimpé jusqu'à 9.1 °C ce jour-là, avec une moyenne journalière de 8.2 °C supérieure à la norme et inférieure de 0.3 °C seulement par rapport à la moyenne maximale (6.8 °C le 27 juin 1947). Sous l'action de cette chaleur très inhabituelle, le manteau neigeux hivernal a fondu rapidement, même aux altitudes élevées. Il a totalement disparu sur de nombreux glaciers, dont la surface tout entière est devenue zone de fusion. Sur tous les autres, il a persisté jusqu'à la fin de l'été, mais avec une épaisseur fortement amoindrie et sur une surface réduite à quelques dixièmes seulement de la surface totale du glacier. Pendant la seconde moitié de l'été, les parties supérieures de ces glaciers présentaient un aspect très particulier: des étendues neigeuses claires, souvent divisées en plusieurs taches, étaient bordées de bandes plus sombres en forme de guirlandes ou d'anneaux, témoignant de l'affleurement et de la mise à jour de couches plus anciennes du névé.*

*Les régions englacées des bassins versants ont fourni des débits très variables en fonction de la surface glaciaire. La fonte de la neige a donné des débits mensuels normaux à forts pendant les périodes chaudes de mars et de mai pour toutes les régions, tandis que pendant les fortes chaleurs de juillet et d'août, l'ablation glaciaire n'a fourni des quantités comparables que pour les régions fortement recouvertes de glace. En revanche, les débits mensuels se sont maintenus au-dessous des normes partout après les séquences froides d'avril, de juin et de septembre, ainsi que, pour les bassins versants peu englacés, durant les périodes de sécheresse de juillet et d'août. Le volume d'eau habituel des torrents glaciaires, comme la Massa, par exemple, est, en juillet et en août, presque le double de celui de juin et de septembre, et le sextuple environ de celui de mai ou d'octobre. Mais, en cet été de 1990, les valeurs des débits se sont révélées normales à excédentaires aussi bien en mai, juin et septembre qu'en juillet et en août pour les bassins versants englacés, alors qu'elles sont restées au-dessous des normes pour les régions peu englacées. L'ablation des glaciers s'est maintenue à un haut niveau pendant la première quinzaine d'octobre et ce n'est qu'au milieu de ce mois, pour le sud des Alpes surtout, puis fin octobre et début novembre pour les autres contrées du pays, que les premières réserves du bilan 1990/91 se sont constituées. L'hiver s'est installé nettement plus tôt que l'année précédente sur le pays tout entier, grâce à des chutes de neige jusqu'à basse altitude au nord des Alpes pendant les premiers jours de novembre, et sur les deux versants du massif alpin le 25 du même mois.*

### 1.3 CONDITIONS CLIMATIQUES 1990/91

*Les caractéristiques météorologiques de cette année se distinguent nettement de celles des années précédentes, dominées par un manque de neige au début de la saison d'hiver. En effet, des chutes abondantes se sont succédé de fin octobre à mi-janvier, suivies d'une période assez sèche et très froide durant la première quinzaine de février. Dès la fin de ce mois, la température s'est anormalement élevée jusqu'au début d'avril, puis le printemps s'est révélé frais et pluvieux, avec des conditions hivernales en haute montagne, qui ont duré jusqu'au solstice de juin. De fortes chaleurs prolongées et un temps sec en général ont caractérisé l'été jusqu'à fin septembre, lorsque les premières chutes de neige sont tombées en haute montagne, annonçant brusquement l'arrivée de l'hiver. Après quelques courtes séquences de temps automnal doux, celui-ci s'est installé progressivement sur tout le pays lors des invasions d'air froid de la dernière décade d'octobre et de mi-novembre. Le bilan de masse des glaciers en 1990/91, calculé à partir du bilan hydrologique journalier du bassin versant du glacier d'Aletsch, présente les particularités suivantes. La période d'accroissement a duré 149 jours, de mi-octobre à mi-juin, soit dix jours de plus que la norme, et a fourni des réserves supérieures à la moyenne. Quant à la période d'ablation, de mi-juin à fin septembre, elle s'est étendue sur 100 jours (norme: 126 jours), mais la fusion de la glace s'est révélée aussi importante que durant la période correspondante de l'année précédente, qui a duré 153 jours. En raison des variations de l'accroissement hivernal selon les régions, le bilan final de cet exercice se solde par une perte un peu plus faible qu'en 1989/90. Les poussières du Sahara, qui se sont déposées sur tout le massif alpin en mars 1991, ont notablement contribué à l'ablation extrêmement active de la glace pendant l'été suivant, car elle est restée visible à la surface des glaciers pendant toute cette saison, à cause de la sécheresse persistante.*

#### Conditions météorologiques

*Le déroulement des conditions météorologiques de septembre 1990 à octobre 1991 est représenté à la figure 1.2. Durant l'exercice considéré, la température a été, à maintes reprises, trop élevée durant plusieurs semaines consécutives. Un écart aussi important dans le sens opposé n'a été relevé qu'à quelques occasions, surtout au printemps, pendant une période prolongée. Quant aux moyennes mensuelles, seule celle de mai est nettement trop basse, alors que celles des mois d'été (juillet à septembre) sont très élevées. Les autres mois restent proches de la norme par compensation entre les séquences chaudes et froides. Le bilan de masse des glaciers a été influencé par deux événements significatifs: la période froide du printemps qui a notablement retardé le début de la fonte des neiges en haute montagne, d'une part, et la grande chaleur estivale, responsable d'une ablation très active et presque ininterrompue du début de juillet à fin septembre, d'autre part.*

*La représentation graphique des lames d'eau mesurées à Zurich donne une somme annuelle à peu près normales tandis que dans le cas du Saentis cette somme dépasse fortement la norme. Cette valeur caractérise plusieurs petites régions très pluvieuses et bien délimitées de part et d'autre des Alpes, où de violentes pluies d'orage ont apporté des totaux mensuels importants à très élevés, en juillet surtout sur le versant nord, en septembre sur le versant sud. Février et août se sont signalés par leur sécheresse sur l'ensemble du pays, tandis que celle-ci frappait le sud seulement en janvier, mai et juillet.*

### *Conditions climatiques*

*La figure 1.4 montre la distribution spatiale des paramètres climatologiques. Les lames d'eau accumulées d'octobre 1990 à septembre 1991 atteignent des valeurs presque normales sur la majeure partie du pays. Elles sont en général faiblement déficitaires en Suisse romande et quelque peu excédentaires en Suisse orientale. De petites zones bien délimitées, réparties ici et là sur l'ensemble du pays, ont reçu des totaux pluviométriques élevés, en particulier la vallée supérieure de la Reuss et celle de Vals. Des précipitations peu abondantes sont, en revanche, tombées sur quelques régions marginales de la Suisse, au nord-ouest (Jura), au sud (vallées de la Viège) et au sud-est (est des Grisons), ainsi que sur la vallée de l'Aar et sur le pays de Glaris.*

*La température moyenne de mai à septembre 1991 est partout bien supérieure à la norme. Cet excédent thermique estival est important sur l'ensemble des Alpes, et même très prononcé en bien des endroits. Plusieurs stations annoncent des écarts si élevés qu'il a fallu utiliser l'indice statistique +3 pour désigner les zones qui les concernent. En règle générale, l'écart thermique positif est plus marqué en plaine qu'en montagne, où le temps a été plus chaud à l'est qu'à l'ouest.*

Tabelle 1.1: Lufttemperatur 1990 - Gradtagssummen Mai-Oktober

a) Absolute Werte

Station	Höhe [m ü.M.]	Gradtagssumme [°C]						
		Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Mai-Sept.
<b>Meteorologische Stationen: 1)</b>								
Gütsch	2287	117	158	273	285	138	110	972
Säntis	2490	64	94	193	213	60	115	624
Weissfluhjoch	2690	49	91	196	199	66	84	602
Jungfrauoch	3580	0	15	39	37	3	2	93
<b>Aerologische Stationen: 2)</b>								
Payerne (700 mb)	3100	4	38	120	107	32	42	301
München (700 mb)	3100	0	30	82	88	10	46	210
Mailand (700 mb)	3100	6	50	137	133	58	37	384
<b>Firngebiete: 3)</b>								
Clariden <sup>3a)</sup>	2700	45	86	190	202	66	54	590
Clariden <sup>3a)</sup>	2900	18	59	154	162	38	35	432
Silvretta <sup>3b)</sup>	2750	40	83	185	187	58	75	554
Jungfraufrim <sup>3c)</sup>	3350	0	25	70	70	6	8	170

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

Station	Höhe [m ü.M.]	Gradtagssumme [%]						
		Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Mai-Sept.
<b>Meteorologische Stationen:</b>								
Gütsch	2287	202	110	114	123	81	116	115
Säntis	2490	150	95	114	127	49	154	103
Weissfluhjoch	2690	164	102	118	121	57	142	107
Jungfrauoch	3580	0	184	131	138	25	70	121
<b>Aerologische Stationen:</b>								
Payerne (700 mb)	3100	53	106	140	129	57	279	111
München (700 mb)	3100	0	101	118	123	21	340	93
Mailand (700 mb)	3100	60	97	118	118	81	196	106
<b>Firngebiete:</b>								
Clariden	2700	222	99	119	129	63	123	113
Clariden	2900	185	106	121	134	50	126	112
Silvretta	2750	164	103	122	124	55	147	107
Jungfraufrim	3350	0	141	132	146	22	90	115

- 1 Temperaturmessungen der SMA. Gradtagssummen berechnet aufgrund der Monatstabellen, die für die Station Säntis ausführlich, für die andern Stationen auszugsweise publiziert sind [SMA, 1990a].
- 2 Temperaturmessungen in der freien Atmosphäre (Radiosondierungen der Landeswetterdienste). Durch G. Gensler, SMA, berechnete Werte, gemittelt aus den Ergebnissen im Niveau 700 Millibar (etwa 3100 m ü.M.) der Sondenaufstiege um 0 und um 12 Uhr Weltzeit.
- 3 Schätzwerte, für Firnpegel auf Gletschern berechnet aus den Messwerten der Station: a) Gütsch, b) Weissfluhjoch, c) Jungfrauoch.
- 4 Prozentwerte, bezogen auf die Durchschnittswerte der Periode 1959-1991 (Durchschnittswert = 100 %).

Tableau 1.2: Température de l'air 1991 - Sommes des degrés-jour mai-octobre

## a) Valeurs absolues

Station	Altitude [m s.m.]	Somme des degrés-jour [°C]						
		Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Mai-Sept.
<b>Stations météorologiques: 1)</b>								
Gütsch	2287	26	128	304	311	220	61	989
Saentis	2490	13	77	238	247	174	58	748
Weissfluhjoch	2690	4	77	235	227	151	36	694
Jungfraujoch	3580	0	7	62	59	14	1	141
<b>Stations aérologiques: 2)</b>								
Payerne (700 mb)	3100	4	24	130	149	86	20	393
Munich (700 mb)	3100	0	22	122	100	74	27	318
Milan (700 mb)	3100	5	63	162	169	107	28	506
<b>Névés: 3)</b>								
Clariden <sup>3a)</sup>	2700	8	73	221	228	145	26	674
Clariden <sup>3a)</sup>	2900	2	50	183	187	111	17	534
Silvretta <sup>3b)</sup>	2750	2	70	224	215	140	32	651
Jungfraufirn <sup>3c)</sup>	3350	0	20	99	100	41	7	260

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

Station	Altitude [m s.m.]	Somme des degrés-jour [%]						
		Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Mai-Sept.
<b>Stations météorologiques:</b>								
Gütsch	2287	45	89	127	134	129	65	117
Saentis	2490	30	78	141	147	142	78	123
Weissfluhjoch	2690	12	86	142	138	130	61	123
Jungfraujoch	3580	0	90	210	223	116	42	184
<b>Stations aérologiques:</b>								
Payerne (700 mb)	3100	53	67	152	179	153	133	145
Munich (700 mb)	3100	0	74	176	140	155	199	140
Milan (700 mb)	3100	50	123	139	150	149	148	139
<b>Névés:</b>								
Clariden	2700	37	84	139	146	139	60	129
Clariden	2900	23	90	144	155	147	62	139
Silvretta	2750	9	87	148	142	133	62	126
Jungfraufirn	3350	15	113	186	211	154	74	176

1 Observations de l'ISM. Sommes des degrés-jours déterminées à partir des tableaux mensuels publiés in extenso pour la station du Saentis, en extrait pour les autres stations [SMA, 1991a].

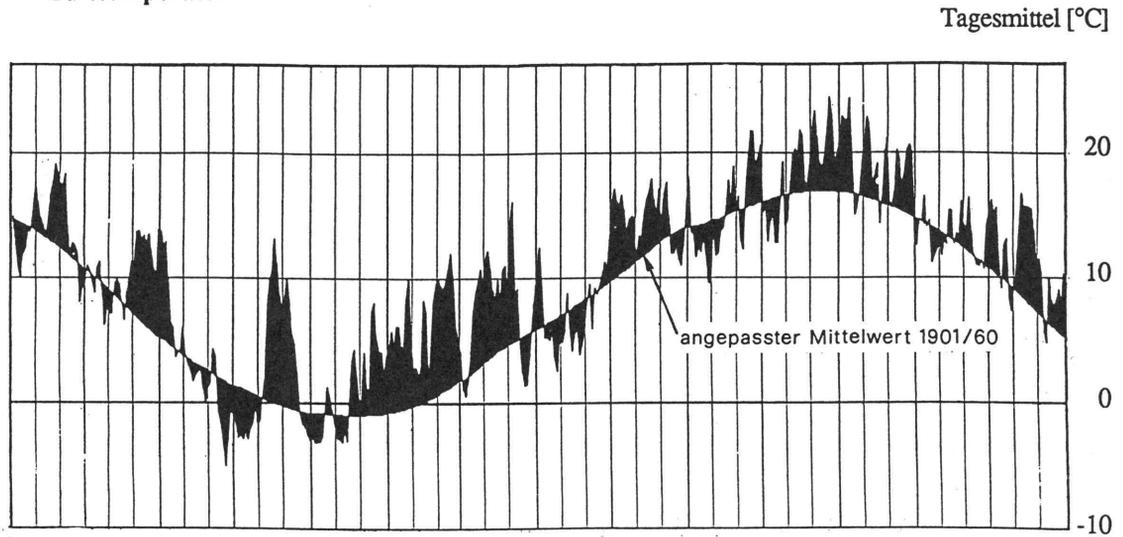
2 Observations dans l'atmosphère libre (radiosondages des services météorologiques nationaux). Valeurs calculées par G. Genster, ISM, à partir des résultats obtenus au niveau de 700 millibars (environ 3100 m s.m.), lors des sondages de 0 et de 12 heures, temps universel.

3 Valeurs estimées pour balises d'accumulation, calculées à partir des températures mesurées aux stations de: a) Gütsch, b) Weissfluhjoch, c) Jungfraujoch.

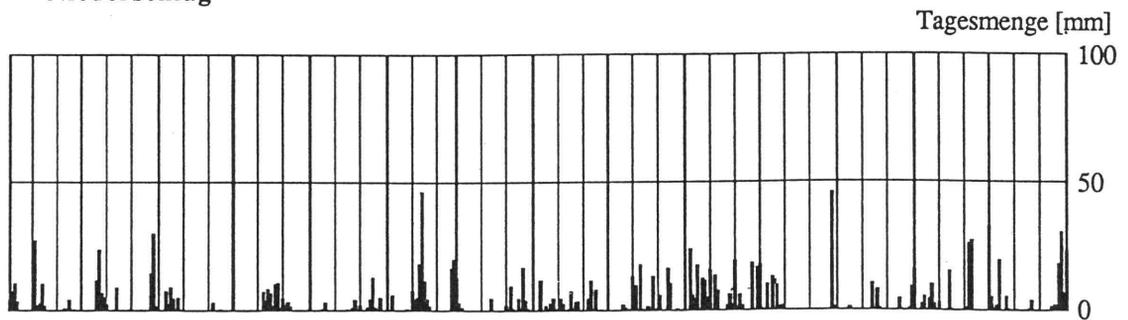
4 Pourcentages par rapport aux valeurs moyennes de la période 1959-1991 (valeur moyenne = 100 %).

Abbildung 1.1: Witterung 1989/90

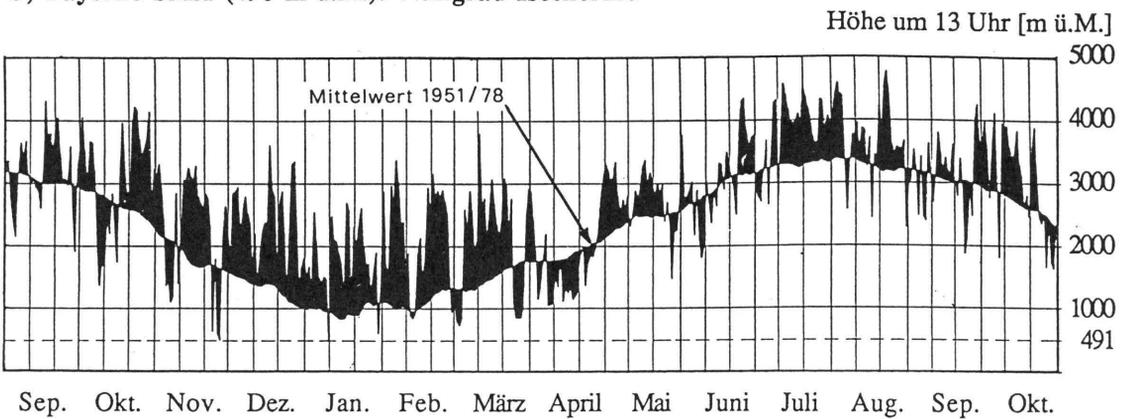
a) Zürich SMA (556 m ü.M.):  
Lufttemperatur



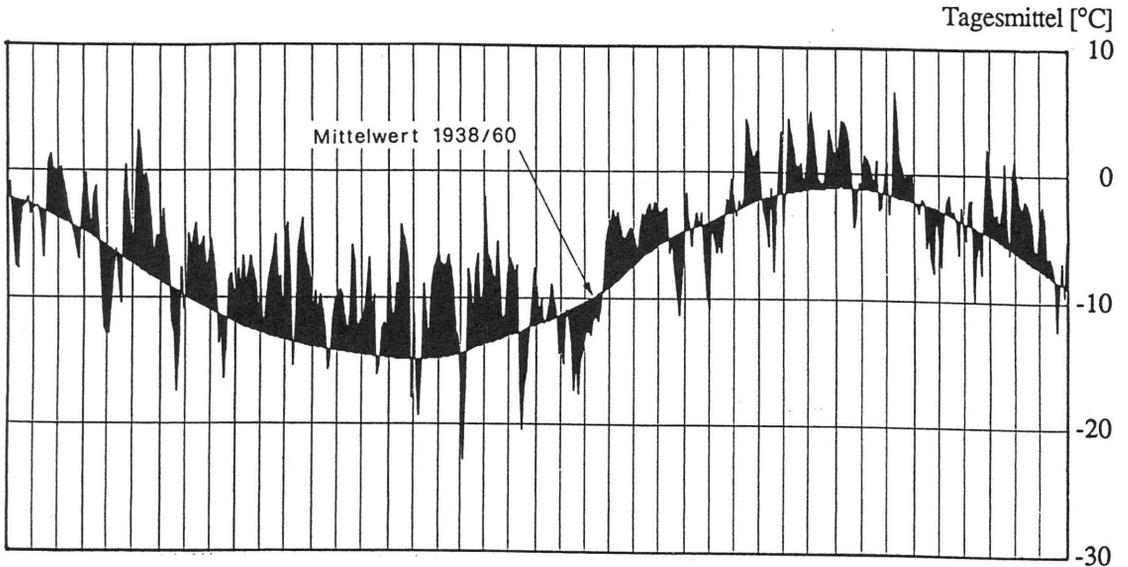
Niederschlag



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

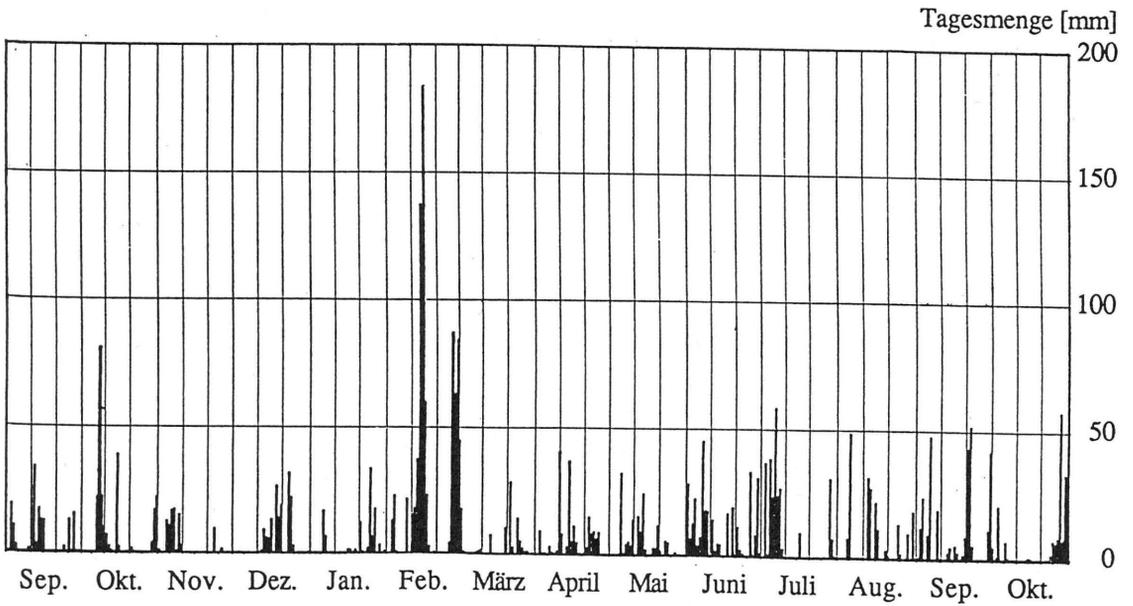
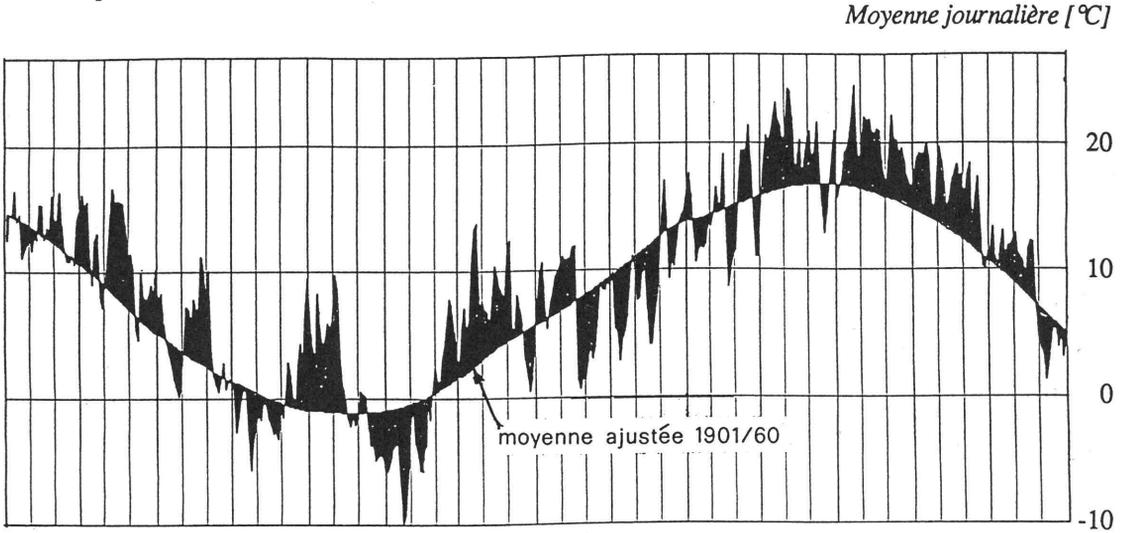
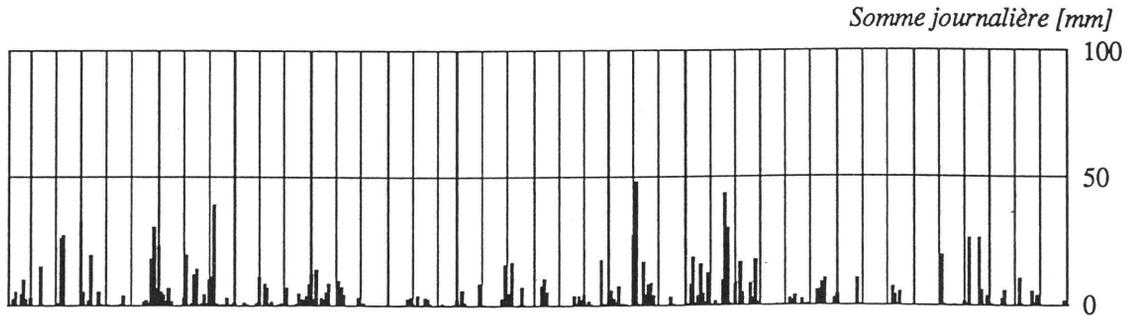


Figure 1.2: Conditions météorologiques 1990/91

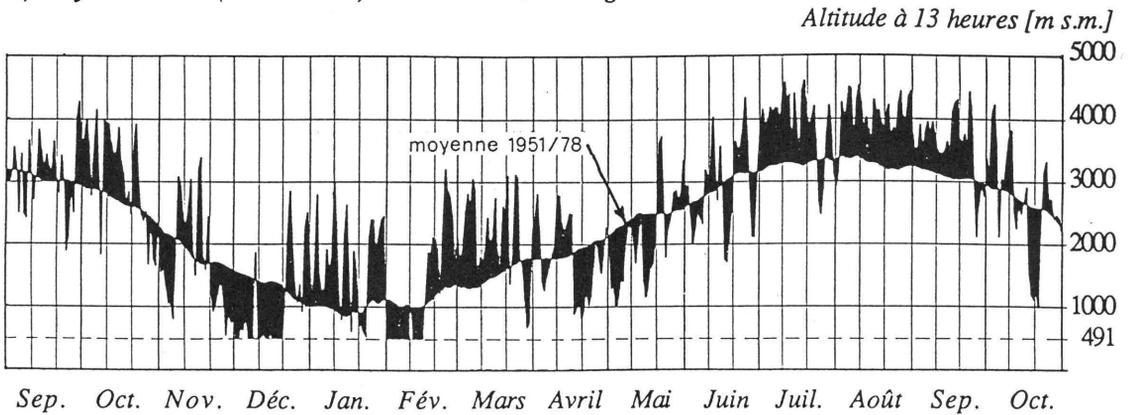
a) Zurich ISM (556 m s.m.):  
Température de l'air



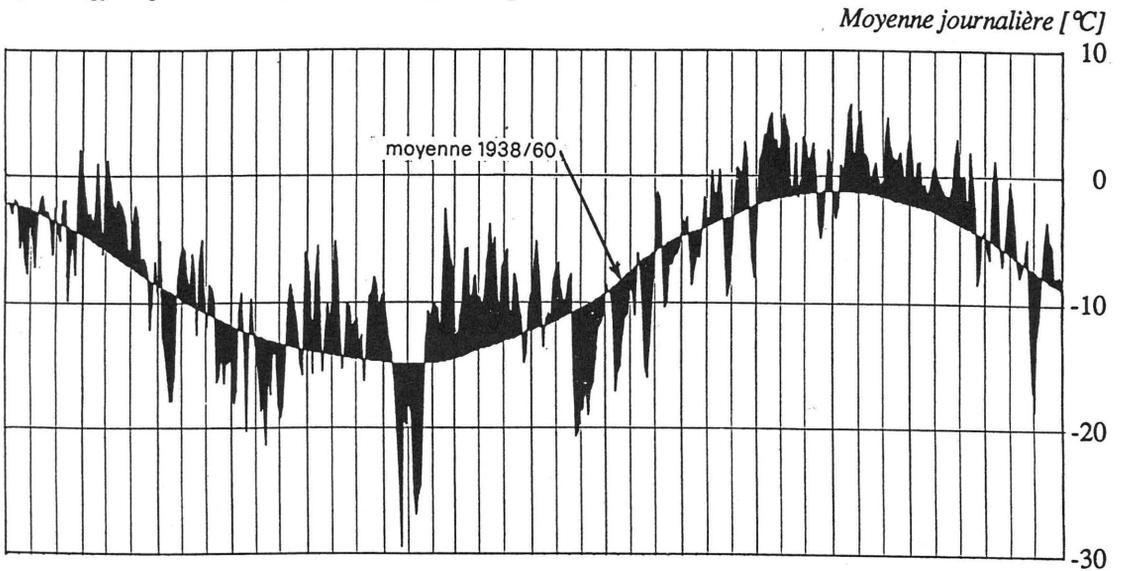
Pluviosité



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



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



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

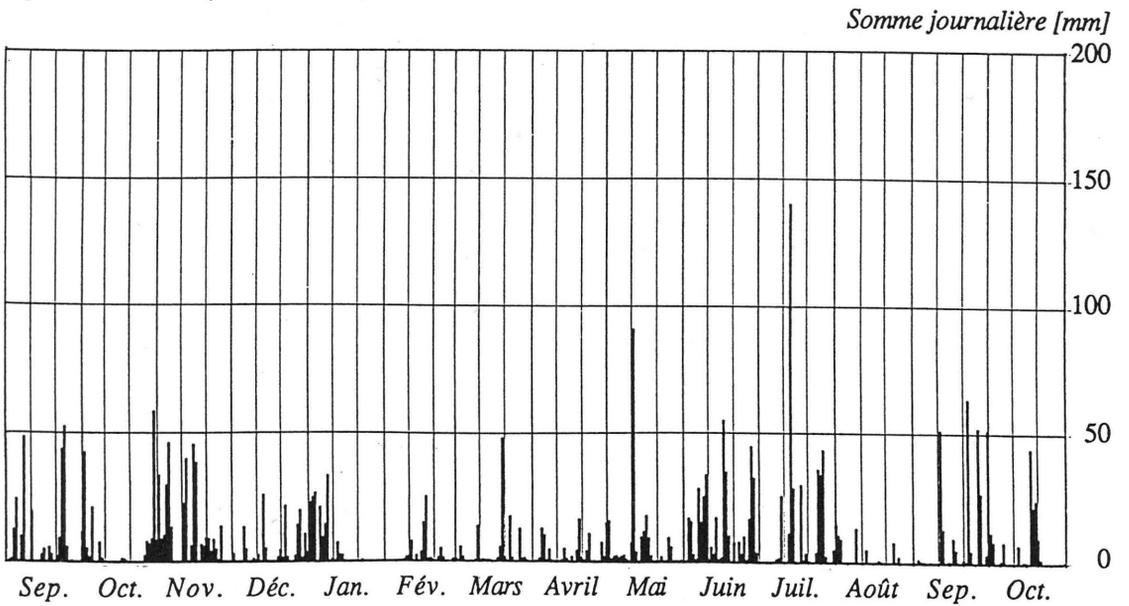
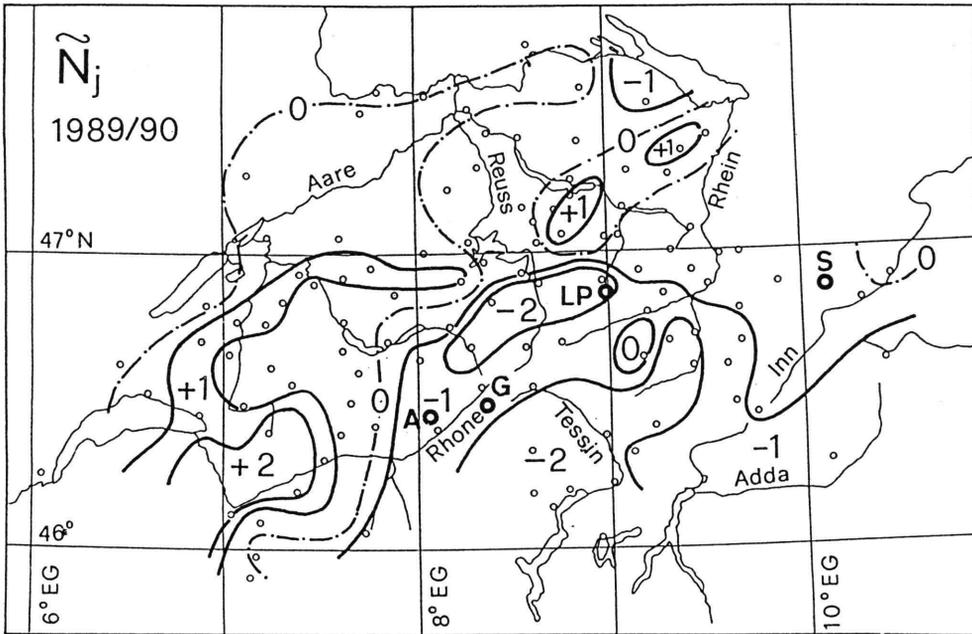


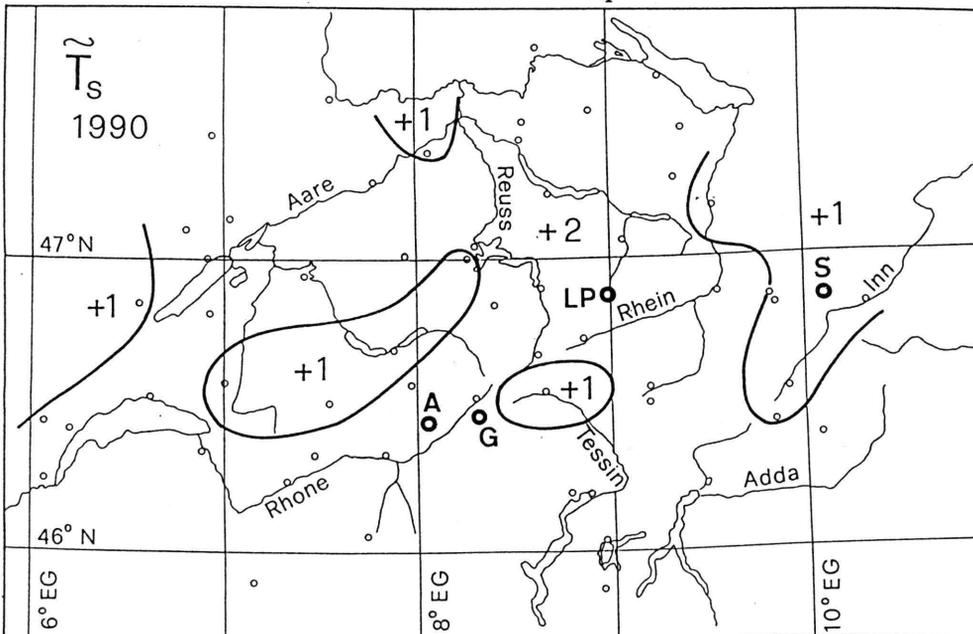
Abbildung 1.3: Klima 1989/90 - Abweichungen vom Normalwert 1901-1960

a) Jahresniederschlag 1989/90: Niederschlagsmenge 1.10.1989 - 30.9.1990



Klassierung der Niederschlagsmenge 1989/90: +2 = sehr gross, +1 = gross, 0 = normal, -1 = klein, -2 = sehr klein.

b) Sommertemperatur 1990: Durchschnittliche Lufttemperatur 1.5. - 30.9.1990

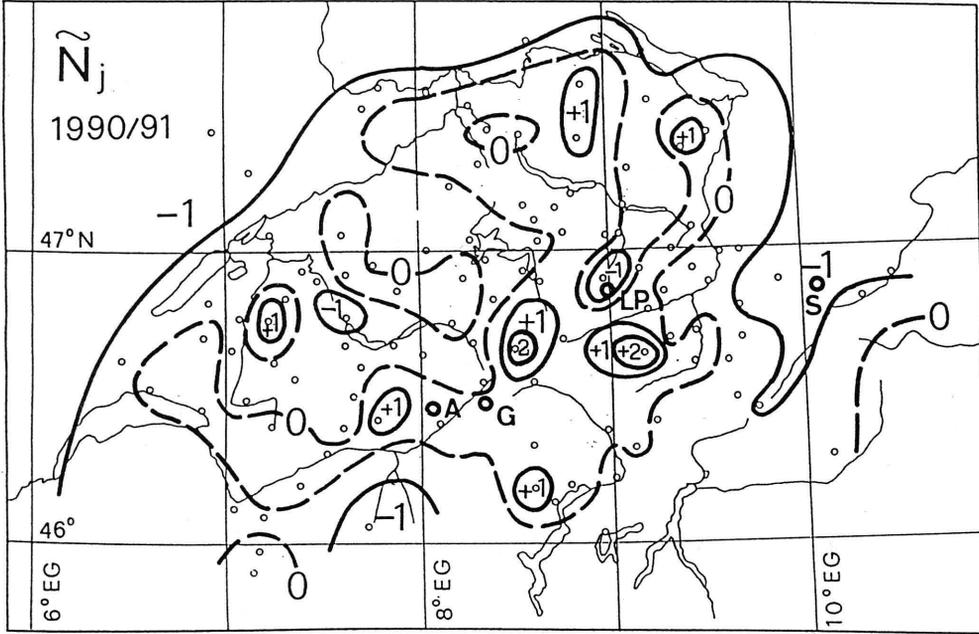


Klassierung der Sommertemperatur 1990: +2 = sehr warm, +1 = warm, 0 = normal, -1 = kalt, -2 = sehr kalt.

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

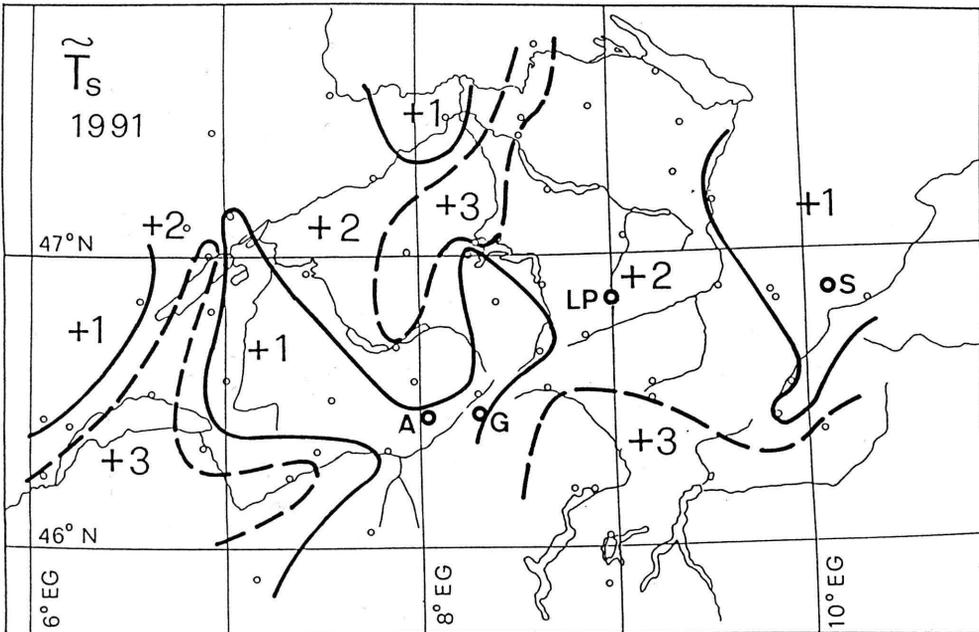
Figure 1.4: Conditions climatiques 1990/91 - Ecart par rapport à la norme 1901-1960

a) Pluviosité 1990/91: Somme des précipitations 1.10.1990 - 30.9.1991



Classification de la pluviosité 1990/91: +2 = très forte, +1 = forte, 0 = normale, -1 = faible, -2 = très faible.

b) Température estivale 1991: Température moyenne de l'air 1.5. - 30.9.1991



Classification de la température estivale 1991: +2 = très chaude, +1 = chaude, 0 = normale, -1 = froide, -2 = très froide.

- Stations pluviométriques (fig. 1.4a) ou climatologiques (fig. 1.4b) de l'ISM.
- Glaciers de bilan (cf. tabl. 5.1): A = Aletsch, G = Gries, LP = Limmern/Plattalva, S = Silvretta.



## 2. CHRONIK

### 2.1 TÄTIGKEIT UND EREIGNISSE 1989/90

#### Zungenbeobachtungen

Im Herbst 1990 sind im Rahmen der 111. Erhebung 111 Netzgletscher erfasst worden. In den Statistiken des vorliegenden Berichts ist erstmals auch der **Croslinagletscher**, den die Tessiner Förster seit 1989 vermessen, berücksichtigt worden. Damit hat sich die Zahl der Gletscher im Messnetz, das zum Erfassen der Längenänderung dient, von 120 auf 121 erhöht.

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

<b>Kantonale Forstdienste</b>	<b>69</b>	<b>Private Mitarbeiter</b>	<b>17</b>
Bern	11	Y. Biner	1
Graubünden	15	J.-L. Blanc	3
Obwalden	2	H. Boss Jun.	1
St. Gallen	2	H. Boss Sen.	2
Tessin	7	A. Godenzi	2
Uri	8	E. Hodel	1
Waadt	4	P. Mercier	4
Wallis	20	U. Steinegger	2
		W. Wild	2
<b>Kraftwerke</b>	<b>6</b>	<b>ETH Zürich: VAW-Glaziologie</b>	<b>19</b>
Ägina	1	im Gelände	8
Mattmark	1	Luftbilder	11
Mauvoisin	2		
Oberhasli	2		

#### Vermessungsflüge

Wie in den Vorjahren sind uns bei 6 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, A. Käab und W. Schmid am betriebseigenen analytischen Plotter ausgewertet worden. Insgesamt haben das Bundesamt für Landestopographie (L+T) und die Eidgenössische Vermessungsdirektion (V+D) 63 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' [Haeberli, 1993]. Die nachstehende Darstellung einzelner Forschungsprojekte stützt sich wie der Bildbericht über Tiefbohrungen und Färbversuche am Grossen Aletschgletscher in Kapitel 4.1 auf den Jahresbericht der VAW [1990].

Im Rahmen der Untersuchungen über den Einfluss des Wasserdrucks am Gletscherbett auf die Gleitkomponente der Gletscherbewegung sind Tiefbohrungen mittels Heisswasserstrahl in verschiedenen Alpengletschern, wie z.B. Findelen, Gorner und Unteraar bis 430 m, in Grönland am Jakobshavn sogar bis 1630 m Tiefe vorgetrieben worden [Iken et al., 1993]. Im Sommer 1990 hat die zuständige Forschergruppe der VAW ihr Bohrgerät auf dem **Grossen Aletschgletscher** am Konkordiaplatz eingesetzt, wo das Eis in einer - wahrscheinlich übertiefen - Talmulde am Zusammenfluss der vier Teilströme etwa 900 m dick sein sollte. Erste seismische Sondierungen von Mothes im Februar 1929 hatten Tiefen um 800 m ergeben [Mothes, 1929]. Seine Ergebnisse sind - wie spätere Nachrechnungen zeigten - als Mindestwerte zu betrachten, da sie auf vorsichtiger Interpretation der Messdaten beruhen. Weitere Messungen, die Thyssen im Sommer 1958 vornahm, um seine neue, für die Auslotung des grönländischen Inlandeises entwickelte Seismikapparatur zu erproben, ergaben Eistiefen bis 890 m [Thyssen und Ahmad, 1969]. Tatsächlich hat im August 1990 das tiefste Bohrloch, das sich in der Mitte des Gletschers und des vom Jungfraufirn zufließenden Eises befand, in rund 900 m Tiefe eine schuttreiche Schicht erreicht. Ob diese unmittelbar an der Gletschersohle oder erheblich höher im Eis liegt, steht nicht eindeutig fest. Das Bohrloch entleerte sich nach fünf Tagen in das subglaziale Abflussnetz, das mittels Färbversuchen in Zusammenarbeit mit einer Hydrologengruppe der Universität Freiburg im Breisgau untersucht wurde. Zu diesem Zweck wurde in das tiefste Bohrloch und nebenan in ein Strudeloch eine konzentrierte Lösung mit je einem von zwei eindeutig unterscheidbaren organischen Farbstoffen eingeleitet. Danach wurden dem Gletscherbach, der Massa, Proben entnommen in regelmässigen Zeitabständen bis Ende September, danach vereinzelt bis zum Jahresende. Dies erfolgte in der Wasserfassung des Kraftwerks Aletsch und mit Unterstützung durch dessen Personal. Die Analyse zum Nachweis der Farbstoffe im Gletscherwasser wurde bei einem Teil der Proben mit feldtauglichen Methoden an Ort und Stelle, bei den übrigen mit höherempfindlichen Labormethoden in Freiburg vorgenommen. Die Ergebnisse weisen auf eine beträchtliche Wasserspeicherung im Gebiet des Konkordiaplatzes hin, da sich der Abfluss aus den Speicherräumen, die vermutlich an der Gletschersohle liegen, mit ausgeprägten täglichen Schwankungen über viele Wochen hinzog [Hock, 1991]. Um die Temperatur des Eises im Gletscherinnern zu erfassen, wurden in einem Bohrloch Messfühler (Thermistoren) in verschiedenen Tiefen angebracht. Sie dienen insbesondere zum Bestimmen des Schmelzpunktes von temperiertem Gletschereis bei hohen Drücken, wie sie in Alpengletschern nirgendwo sonst auftreten und mit der erreichten Tiefe von 900 m für direkte Messungen nun auch zugänglich geworden sind. Die Bohrkampagne 1990 diente als Vorstudie zur weiteren Erkundung der besonderen Verhältnisse am Konkordiaplatz, wo der für die grösste Eisdicke in den Alpen vermutete Wert von 1 km insofern eindeutig nachweisbar ist, als die Gletscheroberfläche heute rund 100 m tiefer liegt als bei den ersten genauen Vermessungsaufnahmen, die R. Stengel im Jahr 1851 für die Dufourkarte ausgeführt hat.

Im Rahmen eines Forschungsauftrags haben Mitarbeiter der VAW in früheren Studien untersucht, wie sich das Aufstauen des Grimselsees gemäss KWO-Projekt "Grimsel West" auf den **Unteraargletscher** auswirken würde (vgl. 107. Bericht, 1985/86) und welche Kalbungsgeschwindigkeiten in vergleichbaren Fällen in der Natur auftreten (vgl. 110. Bericht, 1988/89). In einer weiteren Studie ist an einem hydraulischen Modell im Labor untersucht worden, wie gross die durch Kalbungsvorgänge verursachten Flutwellen sein könnten. Dabei hat sich gezeigt, dass die anfänglich beim Überfluten der Gletscherzunge auftretende Auftriebskalbung weniger hohe Wellen erzeugen würde als die grössten der nachfolgend an der Stirnwand der Gletscherzunge einsetzenden Abbruchkalbungen. Im Fall der Auftriebskalbung, bei der ein Eisvolumen bis 25 Millionen m<sup>3</sup> aufschwimmen könnte (und die Gletscherzunge um rund 800 m ver-

kürzt würde), sollte ein rund 3 m hohes Freibord genügen, um ein Überschwappen der Flutwelle am Stauwehr zu verhüten. Im Fall der Abbruchkalbung, bei der mit einer wesentlich kleineren Eismasse (bis 1 Million m<sup>3</sup>), aber je nach Abbruchmechanismus mit einem viel höheren Energieimpuls zu rechnen ist, wäre ein etwa doppelt so hohes Freibord erforderlich, damit die Flutwelle in den sich verengenden Buchten an den Flanken des bogenförmigen Stauwehrs nicht über die Höhe der Mauerkrone aufläuft. Um das Volumen der Abbruchkalbungen abzuschätzen, ist die Stabilität der - meistens unterschmolzenen und überhängenden - Abbruchwand mittels eines mathematischen Modells untersucht worden, indem das Gletscherfliessen in einem Längsschnitt durch das Zungenende numerisch simuliert und das Spannungsfeld hinter der Abbruchwand für verschiedene Fälle der Rissbildung berechnet wurde. Daraus ergab sich je nach der Breite des erfassten Sektors im Querschnitt (fallweise ist 1/8 - 1/1 der ganzen Breite eingesetzt worden) eine Kalbungsmasse zwischen 0.02 und 1.08 Millionen m<sup>3</sup> [Vischer et al., 1991].

Die Beobachtungen über die Gletscherbewegung an den Pegelnetzen der VAW sind im Berichtsjahr im gewohnten Umfang und in gleicher Weise, wie es im letzten Bericht beschrieben ist, weitergeführt worden. Im allgemeinen hat sich die Fliessgeschwindigkeit des Eises wenig verändert. Nach einer geringfügigen Beschleunigung im Vorjahr hat sie sich seither etwa gleichermassen verlangsamt auf Werte, bei denen der Eiszufluss den Abtrag an den Messpunkten im Zehrgebiet unter normalen Klimabedingungen annähernd ausgleicht, so dass die Gletscherdicke wenig ändert. Unter den Bedingungen des Berichtsjahres war dies bei weitem nicht der Fall. Entsprechend dem durch starke Schmelzung im Sommer entstandenen grossen Übergewicht des Abtrags sind die Gletscherzungen meistenorts sichtlich dünner geworden. Auf den **Aaregletschern** z.B. ist die Oberfläche in den Querprofilen durchschnittlich um 2-4 m, an einzelnen Punkten bis 7 m abgesunken. Desgleichen ist sie auf dem **Grossen Aletschgletscher** an den Messpunkten im Nährgebiet um 2-3 m, im Zehrgebiet stellenweise um 7-8 m abgesunken auf den tiefsten Stand der letzten 50 Jahre. Im Querprofil Aletschwald, vormals rund 3 km, heute knapp 300 m hinter dem Zungenende, hat sich die Eisdicke seit 1880 von rund 400 auf etwa 100 m vermindert.

Wie in den Schweizer Alpen werden Erhebungen über Stand und Veränderungen der Gletscher in zahlreichen anderen Ländern seit Jahrzehnten regelmässig wiederholt. Seit 1895 werden die Ergebnisse über die Längenänderungen weltweit gesammelt und in internationalen Gletscherberichten veröffentlicht. Aus der 1894 gegründeten "Internationalen Gletscherkommission" ist mit der Zeit der heutige, an der VAW untergebrachte "World Glacier Monitoring Service" (WGMS) entstanden. Zu dessen Hauptaufgaben gehört das Weiterführen der seit 1959 als Fünfjahresbände erscheinenden und seit 1991 durch die Zweijahreshefte des "Glacier Mass Balance Bulletin" [WGMS, 1993] ergänzten internationalen Gletscherberichte [IAHS et al., 1993] wie auch das Aufbauen und Nachführen eines Welt-Gletscherinventars (WGI), gestützt auf nationale Bestandesaufnahmen, die seit zwei Jahrzehnten in allen Gletschergebieten im Gang sind [IAHS et al., 1989]. Die Datensammlungen für das Inventar und für die Berichte bilden den Grundstock einer **glaziologischen Datenbank**, die für EDV-gestützte Übersichten und Analysen zur Verfügung steht. Entsprechend den Hauptaufgaben des WGMS enthält sie in je einem Sonderbereich die Daten des Inventars und die Daten der Berichte. Im Inventar ist der gegenwärtige Zustand der Gletscher für den gesamten Bestand, die Grundgesamtheit in allen vergletscherten Gebieten beschrieben mit Zahlenangaben über Lage und Grösse wie auch mit kodierten qualitativen Angaben über Art, Form und Ernährung jedes Gletschers, ebenso über Form und Aktivität seines Zungenendes. Die Berichtsdaten geben Auskunft über die jährlichen oder mehrjährigen Veränderungen der Länge und anderer Grössen, die in den Stichproben der nationalen Messnetze an ausgewählten Gletschern regelmässig ermittelt werden.

## 2.2 TÄTIGKEIT UND EREIGNISSE 1990/91

### Zungenbeobachtungen

Im Rahmen der 112. Erhebung sind im Herbst des Berichtsjahrs 109 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.

<b>Kantonale Forstdienste</b>	<b>70</b>	<b>Private Mitarbeiter</b>	<b>17</b>
Bern	11	Y. Biner	1
Glarus	1	J.-L. Blanc	3
Graubünden	16	H. Boss Jun.	2
St. Gallen	2	A. Godenzi	2
Tessin	7	E. Hodel	1
Uri	7	P. Mercier	4
Waadt	4	U. Steinegger	2
Wallis	22	W. Wild	2
<b>Kraftwerke</b>	<b>6</b>	<b>ETH Zürich: VAW-Glazologie</b>	<b>16</b>
Ägina	1	im Gelände	6
Mattmark	1	Luftbilder	10
Mauvoisin	2		
Oberhasli	2		

### Vermessungsflüge

Bei 8 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 **Findelen** und **Silvretta** durch die Mitarbeiter H. Bösch, W. Nobs und W. Schmid am betriebseigenen analytischen Plotter ausgewertet worden. Die Zunge des **Grossen Aletsch** haben S. Huonder und A. König im Rahmen ihrer Diplomarbeit am Autograhen des Geodätischen Instituts der ETH als digitales Geländemodell aufgenommen und in Blockdiagrammen wie auch Kurvenplänen dargestellt. Das Bundesamt für Landestopographie (L+T) und die Eidgenössische Vermessungsdirektion (V+D) haben 71 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' [Haerberli, 1993]. Die nachstehende Darstellung einzelner Forschungsprojekte stützt sich auf den Jahresbericht der VAW [1991a].

In einer Vorstudie zuhanden des nationalen Forschungsprogramms "Klimaänderungen und Naturkatastrophen" (NFP 31) ist der derzeitige Stand der Kenntnisse über **Eisstürze** und **Murgänge** im Hochgebirge zusammenfassend dargestellt [Haerberli, 1992]. Im Hinblick auf mögliche Erwärmungstendenzen in der nahen Zukunft steht das Schmelzen alpiner Eisvorkommen (**Gletscher** und **Permafrost**) mit seinen

Folgen für das Potential an Naturgefahren im Mittelpunkt der nun laufenden Untersuchungen über die Vorgänge in den vergletscherten und angrenzenden Gebieten oberhalb der Waldgrenze, wo sich Klimaänderungen besonders deutlich erkennbar auswirken. Seit der Mitte des letzten Jahrhunderts hat sich die bodennahe Luftschicht im Alpenraum um 0.5-1 °C erwärmt, die Schneegrenze um knapp 100 m angehoben, die Gesamtfläche der Alpengletscher um rund einen Drittel und deren Gesamtmasse, d.h. der als Firn und Eis natürlicherweise gespeicherte Wasservorrat, um etwa die Hälfte verkleinert. Bei unverändert andauernder und erst recht bei zunehmender Erwärmung, wie sie aufgrund des anthropogen verstärkten Treibhauseffekts für die nahe Zukunft zu erwarten ist, wird neben der fortschreitenden Entgletscherung des Hochgebirges und das Auftauen der durch Dauerfrost verfestigten Lockergesteine wie auch das häufigere Auftreten der Starkniederschläge in Form von Regen zu stark erhöhter Gefahr der Murgangbildung führen. Die Gefahr von Gletscherstürzen oder Seeausbrüchen wird an bisher bekannten Stellen möglicherweise geringer oder ganz verschwinden, an manchen anderen Orten jedoch neu entstehen. Im Hinblick auf eine frühzeitige Wahrnehmung neu auftretender Gefahrenherde soll in numerischen Simulationen anhand digitaler Geländemodelle und aufgrund der teils vorhandenen, teils noch zu erarbeitenden Kenntnisse über die Mechanismen der beteiligten Vorgänge fallweise untersucht werden, wie sich vorgegebene Unterschiede in der Entwicklung der klimatischen Gegebenheiten auf die Standfestigkeit steiler Gletscher und Schuttkörper auswirken. Die beiden nachfolgend beschriebenen Projekte haben dazu wichtige Ergebnisse beigesteuert und werden im Rahmen des NFP 31 weitergeführt.

Grundlagen für solche Modelluntersuchungen werden seit etlichen Jahren erarbeitet durch Untersuchungen an dauernd gefrorenen kriechenden Schuttmassen, sogenannten **Blockgletschern im Oberengadin**. Mittels geophysikalischer Sondiermethoden wie Seismik, Geoelektrik oder Gravimetrie werden die Grössenausdehnung, Form und Struktur der teils aus reinem bis schuttreichem Eis, teils aus eisreichem bis wenig vereistem Schutt aufgebauten Gesteinskörper ermittelt. Durch wiederholte geodätische Vermessung ihrer eigentümlichen, meist mit grobem Blockschutt besetzten und oft lavastromähnlich strukturierten Oberfläche werden Fliessbewegung und äussere Verformung erfasst [Vonder Mühl and Schmid, 1993]. Messungen in Bohrlöchern geben Aufschluss über Bewegung, Verformung, Temperaturverteilung und deren Veränderungen im Innern dieser typischen Permafrostgebilde [Vonder Mühl, 1993]. Untersuchungen über die unterschiedliche Entwicklung der Winterschneedecke auf dauernd oder nur zeitweise gefrorenem Untergrund geben wichtige Hinweise zur Beurteilung des Lawinenrisikos und mittels Temperaturmessungen an der Basis der Schneedecke lässt sich der dauernd gefrorene Bereich kartographisch erfassen [Hoelzle, 1992; Keller, 1993; Keller und Gubler, 1993]. Daraus abgeleitete Faustregeln bilden die Grundlage eines einfachen Modells zum Abschätzen der Permafrostverbreitung aus morphologischen Parametern wie Exposition, Höhen- und Hanglage, die aufgrund eines geographischen Informationssystems mittels digitaler Geländemodelle ermittelt werden [Haeberli, 1975; Keller, 1992]. Mit einem erweiterten Modell, in dem auch die Klimaparameter Lufttemperatur und potentielle direkte Sonneneinstrahlung berücksichtigt sind, lassen sich Permafrostgebiete differenzierter ausscheiden und auch sporadische Vorkommen in tiefen Lagen erfassen [Funk and Hoelzle, 1992; Hoelzle et al., 1993]. Derartige Untersuchungen, die seit 1987 am Blockgletscher **Murtèl** an der Nordwestflanke des Piz Corvatsch und an weiteren Blockgletschern im Gang sind, dienen in erster Linie der Grundlagenforschung. Im **Val Giandains** wurden sie im Rahmen eines Forschungsauftrags der Gemeinde Pontresina und des Kantons Graubünden eingesetzt zur Begutachtung des Untergrunds, auf dem von 1882 an die Stützmauern des Lawinenverbau am Schafberg errichtet worden sind [VAW, 1992b].

Grosse Eisstürze vom **Hängegletscher** in der Westflanke des **Eigers** sind seit langem bekannt und können vor allem im Winter als Staublawinen bis in die Nähe der Bahnstation Eigergletscher gelangen. Im Rahmen eines Forschungsauftrags der Jungfrauabahn ist im Frühjahr 1990 der Ablauf eines Eisabbruchs erfasst worden durch wiederholtes Einmessen der drei auf der Sturzmasse aufgestellten Pegelstangen. Dabei ergab sich wie bei früheren Messungen im Wallis (am Weisshorn im Mattertal und an der Kalbungsfront des Grubengletschers im Saastal) eine beschleunigte Bewegung, aus der durch Interpolation der beobachteten Geschwindigkeiten in Funktion der Zeit eine hyperbelartige Kurve ermittelt wurde. Mit deren Extrapolation liess sich im Juli voraussagen, dass um den 10. August eine kritische Geschwindigkeit von 0.5 m/Tag überschritten werde und ab Mitte August ein Abbruch zu erwarten sei. Dieser ereignete sich am 20. August 1990. Um den gefährdeten Bereich abgrenzen und das Risiko für die Bahnanlagen beurteilen zu können, sind durch Fachleute des SLF lawinendynamische Modellierungen durchgeführt worden. Sie ergaben, dass lamellenförmige Eisabbrüche an der Front des Hängegletschers bis zu einem Volumen von rund einer Million m<sup>3</sup> keine Gefahr darstellen für Bahn und Gebäude im Raum Eigergletscher, dass jedoch bei bevorstehenden grossen Abbrüchen die exponierten Wanderwege und Skipisten zu sperren sind [VAW, 1992c]. Als Folge einer bedeutenden Erwärmung könnte der Hängegletscher allerdings langfristig sein Verhalten ändern und im schlimmsten Fall als Ganzes instabil werden. Deshalb werden im Rahmen des NFP 31 seine Veränderungen erfasst (durch regelmässig wiederholte Luftbildaufnahmen und -auswertungen) und die für sein Verhalten massgeblichen charakteristischen Eigenheiten wie die Geometrie des Gletscherbetts, die Temperaturen und Fliessgeschwindigkeiten im Eis wie auch der Firnzuwachs ermittelt (durch Messungen im Gelände oder in Modellrechnungen).

Aus den Messungen an den Pegelnetzen der VAW geht hervor, dass die Gletscherbewegung sich im Berichtsjahr allenthalben weiter verlangsamt hat auf minimale Geschwindigkeitswerte, was nach starken Schwundjahren als Folge der verminderten Eisdicke durchaus normal ist. Im Zungengebiet des **Giétrogletschers** bewegte sich das Eis nur noch halb so schnell wie vor zehn Jahren, als die Geschwindigkeit Höchstwerte von 95-117 m/Jahr erreichte. Infolge der Verlangsamung hat der Eiszufluss bei wenig vermindertem Abtrag an den Messpunkten im Zehrgebiet stark nachgelassen, wodurch die Gletscherdicke stellenweise um 2-3 m, d.h. noch stärker als im Vorjahr abgenommen hat. Dies ist an der Absenkung der Eisoberfläche an den Zungenrändern besonders deutlich zu erkennen. Wie am **Giétro** hat sich auch am **Fee**, **Trient**, **Oberem Grindelwald** und an manchen andern, vor wenigen Jahren noch vorstossenden Gletschern die Stirnwölbung weitgehend wieder zurückgebildet oder bereits völlig abgeflacht. Augenfällige Veränderungen im Vorfeld abbrechender Gletscherzungen oder am Fuss der Hängegletscher und Eisbrüche geben weitere Hinweise auf das veränderte Bewegungsverhalten der Gletscher. Wo vor zehn bis zwanzig Jahren das Wachsen der Gletscher in häufigen Eisstürzen und hoch aufgeschütteten Sturzkegeln aus frischen Eistrümmern hör- und sichtbar in Erscheinung trat, sind gegenwärtig nur noch dünne, von Schmelzwasserrinnen durchfurchte schuttbedeckte Eisschilder vorzufinden. Die Sturzkegel am Rand des **Giétro** sind fast vollständig verschwunden, ebenfalls am **Allalin**, **Bis**, **Rosenloui**, **Clariden** und an den **Grindelwaldgletschern**. Die regenerierte Zunge des **Pierredar**, durch geringe Mengen nachstürzenden Eises nur noch mangelhaft ernährt, ist ebenso stark zurückgeschmolzen wie die des **Brunni** oder des **Cantone**. Von Eisschlag und kleineren Eisabbrüchen begleitete Rutschungsbewegungen, die am **Allalin**, **Balmhorn**, **Altels** und an anderen steilen Gletscherzungen jeweils im Spätsommer in regelmässigem ein- bis mehrjährlichem Turnus auftraten (und z.T. in früheren Berichten beschrieben sind), haben im Berichtsjahr in abgeschwächtem Masse stattgefunden oder sind ganz ausgeblieben.

## 2. CHRONIQUE

### 2.1 ACTIVITÉ ET ÉVÉNEMENTS 1989/90

#### *Observation des langues glaciaires*

En automne 1990, 111 glaciers ont été inspectés dans le cadre de la 111<sup>e</sup> campagne de mesures. Ce nombre a augmenté d'une unité depuis l'an dernier car, pour la première fois, les statistiques constituant le fondement de ce rapport comprennent le glacier de **Croslina**, mesuré par le service forestier tessinois depuis 1989.

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

<b>Services forestiers des cantons</b>	<b>69</b>	<b>Collaborateurs privés</b>	<b>17</b>
Berne	11	Y. Biner	1
Grisons	15	J.-L. Blanc	3
Obwald	2	H. Boss fils	1
Saint-Gall	2	H. Boss père	2
Tessin	7	A. Godenzi	2
Uri	8	E. Hodel	1
Valais	20	P. Mercier	4
Vaud	4	U. Steinegger	2
		W. Wild	2
<b>Forces motrices</b>	<b>6</b>		
Aegina	1	<b>EPF Zurich: VAW-Glaciologie</b>	<b>19</b>
Mattmark	1	sur le terrain	8
Mauvoisin	2	photos aériennes	11
Oberhasli	2		

#### *Vols photogrammétriques*

Nous bénéficions, comme de coutume, de restitutions photogrammétriques pour 6 glaciers. Elles ont été effectuées, pour les glaciers de l'Aar, par le bureau A. Flotron de Meiringen, à la demande des Forces motrices de l'Oberhasli; pour le glacier de **Giétro**, par le bureau H. Leupin de Berne, à la demande des Forces motrices de Mauvoisin; pour les 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 pour le glacier de **Findelen**, à la demande des VAW, par ses collaborateurs H. Bösch, A. Kääh et W. Schmid, à l'aide de son autographe récemment installé. Les vols photogrammétriques effectués par l'Office fédéral de topographie (S+T) et par de la Direction fédérale des mensurations cadastrales (D+M) ont porté sur 63 glaciers (tabl. 2.1).

#### *Projets de recherches*

Les rapports pluriannuels publiés dans le bulletin 'ICE' de 'l'International Glaciological Society' font le tour d'horizon sur les projets actuels des recherches glaciologiques en Suisse [Haerberli, 1993]. Les lignes suivantes ainsi que le reportage illustré du chapitre 4.1 sur les sondages effectués au grand glacier d'Aletsch montrent quelques exemples tirés du rapport annuel des VAW [1990].

*Dans le cadre des études sur l'influence de la pression hydraulique exercée contre le lit du glacier sur la composante de glissement du mouvement glaciaire, on a procédé à des sondages en profondeur, au moyen d'un jet d'eau chaude, dans différents glaciers alpins (glaciers de Findelen, du Gorner et inférieur de l'Aar, p. ex.) jusqu'à 430 m et au glacier de Jacobshavn (Groenland) jusqu'à 1630 m de profondeur [Iken et al., 1993]. En été 1990, le groupe spécialisé de recherche des VAW a installé son appareil de forage sur le grand glacier d'Aletsch, à l'endroit dit Konkordiaplatz où l'épaisseur de la glace, remplissant une cuvette probablement surcreusée au confluent de quatre glaciers, était évaluée à 900 m environ. Les premiers sondages sismiques, effectués par Mothes en février 1929, avaient donné une estimation prudente d'à peu près 800 m [Mothes, 1929]. En été 1958, Thyssen a testé au même endroit son nouvel appareillage sismique conçu pour l'inlandsis groenlandais. Il a trouvé des épaisseurs de glace allant jusqu'à 890 m [Thyssen und Ahmad, 1969]. Le trou de forage le plus profond a été creusé en août 1990 au milieu du glacier, c'est-à-dire au milieu de la glace affluente du Jungfraufrirn; il a atteint une couche riche en cailloux à une profondeur de 900 m environ. Mais on ne sait pas si cet horizon repose directement sur le lit du glacier ou s'il se situe à une certaine hauteur dans la masse de glace. Cinq jours après, le puits de forage s'est vidé dans le réseau de drainage sous-glaciaire et l'on a procédé à son examen par des essais de coloration, en collaboration avec un groupe d'hydrologues de l'université de Fribourg-en-Brisgau. Lors de ces tests, on a versé des solutions concentrées de deux colorants organiques différents, l'une dans le trou de forage le plus profond, l'autre dans un entonnoir creusé naturellement par le tourbillonnement des eaux de fusion. Puis, avec le concours du personnel des forces motrices d'Aletsch, on a prélevé des échantillons dans la prise d'eau de l'usine sur la Massa, émissaire du glacier. Ces prélèvements se sont poursuivis à intervalles réguliers jusqu'à fin septembre et, de temps en temps, jusqu'à la fin de l'année. Les analyses des colorants dans l'eau glaciaire ont été réalisées simplement pour certains échantillons, sur place, ainsi que de manière plus sophistiquée pour les autres, au laboratoire de Fribourg. Les résultats ont mis en évidence l'existence d'une accumulation importante d'eau sous le Konkordiaplatz, car l'écoulement de cette retenue (qui repose probablement sur le lit du glacier) s'étend sur plusieurs semaines avec de fortes variations journalières [Hock, 1991]. On a également mesuré les fluctuations de température de la glace à l'intérieur de la masse glaciaire en équipant un puits de forage de thermistors, placés à différentes profondeurs. Ils sont, en particulier, utiles pour déterminer le point de fusion de la glace tempérée à des pressions élevées. Des mesures à ces profondeurs sont une première du genre. La campagne de forage de 1990 est donc le prélude à une étude approfondie des conditions particulières du Konkordiaplatz, à savoir l'épaisseur de glace certainement la plus grande des Alpes. La valeur de 1 km, estimée jadis, est donc correcte, puisque la surface du glacier se trouve aujourd'hui 100 m plus bas que lors des premiers levés topographiques précis, effectués par R. Stengel pour la carte Dufour en 1851.*

*Dans le cadre d'une expertise mandatée par les forces motrices de l'Oberhasli, on a évalué les impacts auxquels le glacier inférieur de l'Aar serait exposé dans le cas d'une réalisation du projet "Grimsel-Ouest" provoquant la submersion de la langue glaciaire. Dans les études précédentes, on a examiné les mécanismes de vèlage et leurs effets sur la langue glaciaire (v. notre 107<sup>e</sup> rapport, 1985/86) et observé les vitesses de vèlage dans la nature (v. notre 110<sup>e</sup> rapport, 1988/89). Dans une étude récente portant sur l'importance des ondes de crue causées par les vèlages, on a pu montrer sur un modèle hydraulique à échelle réduite, que le vèlage initial dû à l'émergence des masses de glace submergées produira des vagues nettement plus faibles que les vèlages postérieurs dus aux chutes de glace sur le front glaciaire, devenu vertical ou surplombant. Lors du vèlage initial, un volume de glace de l'ordre de 25 millions m<sup>3</sup> au maximum se détachera en raccourcissant la langue de 800 m environ et la hauteur des vagues ne dépasse-*

ra guère 3 m. En revanche, le volume des vêlages postérieurs sera bien plus modeste (jusqu'à 1 million de m<sup>3</sup> au maximum), mais l'énergie libérée par un vêlage sera beaucoup plus forte. Dans le cas le plus défavorable, la hauteur libre au-dessus du niveau maximum de la retenue (nécessaire pour éviter à ce que les vagues se déversent par dessus les extrémités du barrage) serait le double de celle prévue, vu que les vagues s'exhaussent sensiblement dans les baies latérales enceintes par les rives du lac et les flancs du barrage en voûte. Afin d'estimer les volumes de glace pouvant être détachés, on a examiné la stabilité du front terminal dans un modèle numérique le long d'une coupe longitudinale. En calculant les contraintes en admettant différents cas de rupture, on a déterminé les masses instables pour des secteurs d'une largeur variant d'un huitième jusqu'à l'entier du front. Il en résulta des volumes allant de 0.02 à 1.08 millions m<sup>3</sup> de glace [Vischer et al., 1991].

Les observations sur le mouvement glaciaire se sont poursuivies avec la même ampleur cette année que précédemment (v. notre dernier rapport). De manière générale, la vitesse d'écoulement de glace ne s'est que peu modifiée. Après la faible accélération observée il y a deux ans, elle s'est quelque peu abaissée à des valeurs pour lesquelles, aux points de mesure disposés dans la zone d'ablation, l'apport de glace compense à peu près sa fusion par conditions climatiques normales. L'épaisseur du glacier ne devrait donc varier que faiblement. Mais cela n'a pas du tout été le cas en raison des conditions particulières durant cet exercice. A cause d'une ablation fortement excédentaire, l'épaisseur des langues glaciaires a diminué visiblement en de nombreux endroits. Par exemple, sur les glaciers de l'Aar, la surface glaciaire s'est abaissée le long des profils transversaux de 2-4 m en moyenne et, en certains points, jusqu'à 7 m. De même, au grand glacier d'Aletsch, la surface est descendue de 2-3 m aux points de mesure de la zone d'alimentation et de 7-8 m à certains endroits de la zone d'ablation, atteignant la cote la plus basse de ces 50 dernières années. Dans le profil transversal situé, vers 1880, à une distance de 3 km derrière le front terminal du glacier, mais de 300 m seulement aujourd'hui, l'épaisseur du glacier a passé entretemps de 400 m à 100 m environ.

En dehors des Alpes suisses, les variations des glaciers sont observées régulièrement depuis plusieurs décennies dans de nombreux pays. Dès 1895, les résultats collectés à l'échelle mondiale ont été publiés dans des rapports internationaux. La Commission internationale des glaciers fondée en 1894 s'est transformée au cours des temps pour devenir le "World glacier monitoring service" (WGMS) domicilié aux VAW. A part la publication des rapports internationaux portant, dès 1959, sur cinq années [IAHS et al., 1993] et complétés, dès 1991, par les cahiers biannuels du "Glacier mass balance bulletin [WGMS, 1993], l'une des tâches principales du WGMS consiste à établir un inventaire mondial des glaciers (WGI) fondé sur les relevés nationaux qui sont en cours depuis une vingtaine d'années [IAHS et al., 1989]. Les données collectées pour cet inventaire et pour les rapports sont stockées séparément dans une banque de données glaciologiques établie et entretenue par le WGMS afin d'obtenir une vue d'ensemble de ces données et rendre possible des analyses par ordinateur. Les données de l'inventaire définissent (en chiffres) la situation géographique et les dimensions de tous les glaciers compris dans l'ensemble total et décrivent leurs qualités (codées en chiffres), comme le type, la forme et le mode d'alimentation du glacier ainsi que la forme et le comportement de son front terminal. Les données des rapports informent sur les variations annuelles ou pluriannuelles de la longueur ou des autres dimensions saisies par des relevés réguliers sur l'échantillon des glaciers compris dans les réseaux nationaux d'observation.

## 2.2 ACTIVITÉ ET ÉVÉNEMENTS 1990/91

### Observation des langues glaciaires

En automne 1991, 109 glaciers ont été inspectés dans le cadre de la 112<sup>e</sup> campagne de mesures.

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

<b>Services forestiers des cantons</b>	<b>70</b>	<b>Collaborateurs privés</b>	<b>17</b>
Berne	11	Y. Biner	1
Glaris	1	J.-L. Blanc	3
Grisons	16	H. Boss fils	2
Saint-Gall	2		
Tessin	7	A. Godenzi	2
Uri	7	E. Hodel	1
Valais	22	P. Mercier	4
Vaud	4	U. Steinegger	2
		W. Wild	2
<b>Forces motrices</b>	<b>6</b>		
Aegina	1		
Mattmark	1	<b>EPF Zurich: VAW-Glaciologie</b>	<b>20</b>
Mauvoisin	2	sur le terrain	10
Oberhasli	2	photos aériennes	10

### Vols photogrammétriques

Nous bénéficions de restitutions photogrammétriques pour 8 glaciers. Elles ont été effectuées, comme à l'accoutumée, pour les glaciers de l'Aar, par le bureau A. Flotron de Meiringen, à la demande des Forces motrices de l'Oberhasli; pour le glacier de Giétro, par le bureau H. Leupin de Berne, à la demande des Forces motrices de Mauvoisin; pour les 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 pour les glaciers de Findelen et de Silvretta, à la demande des VAW, par ses collaborateurs H. Bösch, W. Schmid et W. Nobs, à l'aide de son autographe. Le relevé de la langue du grand glacier d'Aletsch, effectué sous forme d'une maquette numérique de la topographie par S. Huonder et A. König, à l'aide de l'autographe de l'Institut de géodésie de l'EPFZ, et représenté dans des perspectives à vol d'oiseau et des plans de situation à courbes de niveau, a fait le sujet d'une thèse de diplôme. Les vols photogrammétriques de l'Office fédéral de topographie (S+T) et de la Direction fédérale des mensurations cadastrales (D+M) ont porté sur 71 glaciers (tabl. 2.1).

### Projets de recherches

Les rapports pluriannuels publiés dans le bulletin 'ICE' de 'l'International Glaciological Society' font le tour d'horizon sur les projets actuels des recherches glaciologiques en Suisse [Haeberli, 1993]. Les lignes suivantes montrent quelques exemples tirés du rapport annuel des VAW [1991a].

Une étude introductive faisant partie du programme national de recherche "Changements climatiques et catastrophes naturelles" (PNR 31), passe en revue les notions actuelles sur les chutes de glace et les laves torrentielles qui sont des phénomènes typiques de la haute montagne [Haeberli, 1992]. En vue d'un réchauffement futur éventuel de l'atmosphère, on s'intéresse essentiellement à la fonte des masses de glace alpines (glaciers et pergélisol) ainsi qu'aux menaces de dangers naturels dont elle est à la cau-

se. Aussi, on s'engage à l'étude systématique de processus agissant sur la morphologie des régions englacées et adjacentes situées au-dessus de la limite forestière, où les changements climatiques sont particulièrement ressentis. Dans les Alpes, la partie inférieure de l'atmosphère s'est réchauffée de l'ordre de 0.5-1 °C depuis le milieu du siècle passé. A la suite, la limite des neiges est remontée de l'ordre de 100 m d'altitude et la surface totale des glaciers des Alpes a diminué d'un tiers environ, tandis que leur masse totale, c'est-à-dire les réserves naturelles en eau douce stockées sous forme de névé ou de glace, s'est réduite presque à la moitié. Si le réchauffement se poursuivra à la même allure ou se renforcera selon l'influence anthropogène sur l'effet de serre, il faut s'attendre à des menaces accentuées de laves torrentielles, vu que les effets cumulés d'une déglaciation de la haute montagne, d'une fréquence croissante des précipitations sous forme de pluie ainsi que d'une fonte des glaces souterraines favorisent la déstabilisation des roches meubles cimentées par le pergélisol. Probablement, la menace de chutes de glace ou de vidanges de lacs glaciaires diminuera ou disparaîtra aux endroits connus, mais elle réapparaîtra ailleurs. Afin de développer les méthodes nécessaires pour évaluer les lieux menacés par ces dangers futurs, on examine des cas typiques qui devraient permettre d'analyser au moyen de simulations numériques (fondées sur les connaissances déjà acquises ou encore à acquérir sur les mécanismes des processus en question) sur la stabilité des glaciers suspendus et des roches meubles en forte pente dans des conditions climatiques variées selon des conditions prédéfinies. Les deux projets décrits ci-dessous ont fourni des résultats importants et seront poursuivis au sein du PNR 31.

On a commencé, depuis quelques années, à collecter des données pour ces modélisations en étudiant des amas de roches meubles gelés en permanence, dits glaciers rocheux, dans le haut de l'Engadine. Les dimensions, la forme et la structure de ces formations composées en partie de glace pure ou riche en débris rocheux, en partie de débris rocheux plus ou moins riches en glace, sont déterminées au moyen des méthodes de sondages géophysiques (sismiques, géo-électriques et gravimétriques). Des relevés géodésiques répétés permettent de déterminer leur mouvement et la déformation de leur surface recouverte pour la plupart de gros blocs et souvent caractérisée par une structure comparable à celle des coulées de lave volcaniques [Vonder Mühll and Schmid, 1993]. Les mesures effectuées dans des trous de forage donnent des informations sur le mouvement, la déformation, la température et les variations à l'intérieur de ces formations typiques du pergélisol [Vonder Mühll, 1993]. En étudiant l'évolution nettement différente de la neige hivernale sur un sol gelé en permanence et sur un sol gelé temporairement, on gagne des indications importantes pour évaluer les risques d'avalanche, et en mesurant les températures à la base du manteau neigeux, il est possible de cartographier le domaine du pergélisol [Hoelzle, 1992; Keller, 1993; Keller and Gubler, 1993]. L'expérience de ces mesures nivologiques a donné des règles générales qui permettent d'estimer l'étendue du pergélisol au moyen d'un modèle simple fondé sur des données morphologiques, comme l'expositon, l'altitude et la pente, que l'on détermine à partir d'un système d'informations géographiques [Haerberli, 1975; Keller, 1992]. Un modèle sophistiqué (tenant compte des données climatiques, comme la température de l'air et l'insolation directe potentielle) permet d'améliorer cette estimation et de détecter des gisements de pergélisol sporadique situés à basse altitude [Funk and Hoelzle, 1992; Hoelzle et al., 1993]. Les études commencées en 1987 sur le glacier rocheux "Murtèl", dans la pente nord-ouest du Piz Corvatsch et sur d'autres glaciers rocheux de la région, font partie du projet de recherche en question. En revanche, au Val Giandains, elles ont servi à une expertise mandatée par la commune Pontresina et le canton des Grisons sur la stabilité du fondement d'ouvrages paravalanches construits au Schafberg dès 1882 [VAW, 1992b].

*Les chutes de glace provenant du glacier suspendu dans la pente ouest de l'Eiger sont connues depuis fort longtemps puisqu'elles pénètrent parfois, surtout en hiver, sous forme d'avalanche poudreuse dans les alentours immédiats de la station ferroviaire d'Eigergletscher. Une expertise mandatée par les Chemins de fer de la Jungfrau a permis de suivre de près, au printemps 1990, le développement d'une chute de glace. En déterminant à différentes dates la position de trois balises plantées sur la partie instable du glacier, on a constaté comme dans les cas observés en Valais (au Weisshorn, vallée de Zermatt, et au front de vêlage du glacier de Gruben, vallée de Saas) une accélération du mouvement qui fut assez régulière pour calculer par interpolation une courbe hyperbolique. L'extrapolation de cette courbe a permis de prévoir, en juillet, que la vitesse dépassera une valeur critique de 0.5 m/jour vers le 10 août, et que le moment probable de la chute sera atteint vers la mi-août. L'événement a eu lieu le 20 août 1990. Pour délimiter la zone menacée et évaluer le risque pour les installations ferroviaires, les spécialistes de l'ENA ont effectué des calculs de la dynamique des avalanches possibles. Il en résulte qu'une lamelle se détachant du front du glacier ne mettra guère en danger les bâtiments et les installations de la station de l'Eigergletscher, si son volume ne dépasse pas un million de m<sup>3</sup>; mais il sera nécessaire de fermer les sentiers et les pistes de ski exposés, si des grandes chutes s'annoncent [VAW, 1992c]. Cependant, le glacier est susceptible de changer son comportement au cours d'un réchauffement notable du climat et pourrait devenir instable dans son ensemble. Pour cette raison, on a décidé de l'observer au sein du PNR 31 pour suivre ses variations (par des relevés aérophotogrammétriques réguliers) et pour définir (par des mesures sur place et par des modélisations numériques) les paramètres essentiels, comme la géométrie du lit glaciaire, la température et le mouvement de la glace ainsi que l'accumulation nivale, qui déterminent son comportement.*

*Phénomène tout à fait normal après des années de forte décrue (dû à la diminution de l'épaisseur de la glace et mis en évidence par les mensurations effectuées sur les réseaux de balises des VAW), la vitesse d'écoulement de la glace a continué de diminuer presque partout, atteignant des valeurs minimales à la fin de l'exercice 1990/91. Dans la langue terminale du glacier de Giétro, la glace ne s'écoule plus qu'à la moitié de la vitesse maximale d'il y a dix ans, soit 95-117 m/an selon les points de mesure. Ce ralentissement a tellement affaibli l'apport par rapport à l'évacuation de la glace que l'épaisseur du glacier aux points observés dans la zone d'ablation a été réduite par endroits de 2-3 m, valeurs plus élevées que celles de l'année précédente. L'abaissement de la surface glaciaire est particulièrement visible sur les bords de la langue. De même qu'au glacier de Giétro, le renflement frontal qui était apparu au glacier supérieur de Grindelwald ainsi qu'aux glaciers de Fee, de Trient et d'autres encore lors de leur crue récente, s'est fortement atténué ou a même disparu. Des transformations visibles à l'oeil nu au pied des glaciers qui se terminent dans un front de vêlage ou au pied des glaciers suspendus et des séracs témoignent également de modifications dans les mouvements de la glace. Maintenant, il ne reste plus que de minces carapaces, couvertes de débris et sillonnées de ruisseaux créés par la fonte là où, il y a dix ou vingt ans seulement, de fréquentes chutes de séracs et d'importants éboulis de glace fraîchement écroulée rendaient l'avance des glaciers visibles et audibles. Ces témoignages ont presque totalement disparu aux abords des glaciers de Giétro, de l'Allalin, de Bis, de Rosenloui, des Clarides et de Grindelwald. Alimentée parcimonieusement par les chutes de séracs, la langue régénérée du glacier de Pierredar a diminué autant que celle du Brunnli ou du Cantone. Les glissements de langues glaciaires escarpées, souvent marqués par des chutes ou petits éboulements de glace que l'on observait régulièrement vers la fin de l'été ou tous les deux à trois ans aux glaciers de l'Allalin, du Balmhorn, de l'Altels ou ailleurs ne se sont produits cette année que dans une mesure nettement moindre ou pas du tout.*

Tabelle 2.1: Vermessungsflüge 1990 und 1991  
 Tableau 2.1: Vols photogrammétriques 1990 et 1991

## a) Jährlich - Annuels

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

Nr. 1)	Gletscher	Aufnahmedatum		Luftbild- nummern	Fluglinie Nummer	Aufnahme durch 2)	Fuss- note
		1990	1991				
5	Grosser Aletsch	6. 9.		5222 - 5236	5	L+T	3)
		6. 9.		5199 - 5209	6	L+T	4)
		6. 9.		5187 - 5194	7	L+T	5)
		6. 9.		5210 - 5221	7	L+T	5)
			5. 9.	8674 - 8688	5	L+T	3)
			5. 9.	8692 - 8705	6	L+T	4)
			21. 8.	8090 - 8100	7	L+T	5)
47	Sex Rouge	11.10.		6184 - 6196	15	L+T	6)
48	Prapio		6. 9.	8735 - 8745	15	L+T	6)
56	Rosenlauri	6. 9.		5237 - 5239	10	L+T	
			6. 9.	8721 - 8725	10	L+T	
			6. 9.	8747 - 8750	10	L+T	
57	Oberer Grindelwald	2. 8.		4498 - 4506	9	L+T	
			21. 8.	8081 - 8089	9	L+T	
58	Unterer Grindelwald	2. 8.		4507 - 4511	8	L+T	
			21. 8.	8111 - 8115	8	L+T	
61	Gamchi	11.10.		6158 - 6171	2	L+T	7)
64	Blümlisalp		21. 8.	8219 - 8229	2	L+T	7)

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

Nr. 1)	Gletscher	Aufnahmedatum		Luftbild- nummern	Fluglinie Nummer	Aufnahme durch 2)	Fuss- note
		1990	1991				
Mö	Mönch (Südflanke)		5. 9.	8668 - 8673	4	L+T	8)
Rb	Rotblatt	22. 8.		2506 - 2516	523.3	V+D	9)
Rt	Rottal VS		10. 9.	6052 - 6062	523.3	V+D	9)
Hb	Hohlaub	22. 8.		2339 - 2360	522.1	V+D	10)
13	Fee		10. 9.	6020 - 6042	522.1	V+D	10)
Hm	Hohbalm						
Tr	Tälli (Fletschhorn)	22. 8.		2361 - 2371	523.2	V+D	11)
Ht	Hohlentrift		10. 9.	6043 - 6051	523.2	V+D	11)
Bi	Bider	22. 8.		2325 - 2331	522.2	V+D	
			10. 9.	6014 - 6019	522.2	V+D	12)
Gr	Gruben (Grüebu)	24.10.		170 - 180	523.1	V+D	FD
			10. 9.	6003 - 6013	523.1	V+D	

Bemerkungen zu den Fussnoten siehe Seite 39 und 40 - Remarques ou notes explicatives voir page 39 et 40.

Tabelle 2.1: Fortsetzung 1

Tableau 2.1: Continuation 1

No. 1) Glacier	Date du levé		Clichés numéros	Ligne de vol no.	Levé par 2)	Note expl.
	1990	1991				
Ki Kin	22. 8.		2497 - 2505	526.1	V+D	13)
Fi Festi		28. 8.	5198 - 5207	526.1	V+D	13)
Hg Hohberg						
107 Bis	22. 8.		2408 - 2422	526.2	V+D	14)
Hl Hohlicht	22. 8.		2423 - 2442	526.3	V+D	15)
		28. 8.	5060 - 5074	526.2	V+D	14)
		28. 8.	5075 - 5095	526.3	V+D	15)
18 Lang	2. 8.		4537 - 4571	16	L+T	16)
St Stammbach		21. 8.	8128 - 8162	16	L+T	16)
Ne Nest						
49 Pierredar (siehe Sex Rouge / Prapio)						
59 Eiger	3. 8.		4611 - 4633	3	L+T	17)
Hf Hochfirn (Jungfrau)		21. 8.	8230 - 8251	3	L+T	17)
Si Sillern	2. 8.		4521 - 4536	1	L+T	18)
Ba Balmhorn	11.10.		6132 - 6156	1	L+T	18)
Al Altels		21. 8.	8183 - 8200	1	L+T	18)
105 Rossboden	22. 8.		2317 - 2324	691.1	V+D	19)
	22. 8.		2398 - 2406	691.2	V+D	
		10. 9.	5982 - 5990	691.1	V+D	19)
		10. 9.	5991 - 6001	691.2	V+D	20)

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

No. 1) Glacier	Date du levé		Clichés numéros	Ligne de vol no.	Levé par 2)	Note expl.
	1990	1991				
1 Rhone	20. 8.		2194 - 2208	501.1	V+D	21)
	20. 8.		2179 - 2193	501.2	V+D	
	23. 8.		2575 - 2588	501.3	V+D	
		10. 9.	5940 - 5953	501.1	V+D	21)
		10. 9.	5954 - 5968	501.2	V+D	22)
		10. 9.	5926 - 5939	501.3	V+D	FD
3 Gries (Ägina)	22. 8.		2372 - 2386	502	V+D	23)
		10. 9.	5969 - 5981	502	V+D	23)
10 Schwarzberg	22. 8.		2467 - 2477	521.4	V+D	24)
	23. 8.		2617 - 2624	521.5	V+D	
		10. 9.	6074 - 6083	521.4	V+D	
		10. 9.	6084 - 6092	521.5	V+D	
11 Allalin	22. 8.		2457 - 2466	521.1	V+D	25)
	23. 8.		2599 - 2612	521.2	V+D	
	24.10.		181 - 202	521.3	V+D	25) FD
		10. 9.	6063 - 6073	521.1	V+D	25)
		10. 9.	6093 - 6105	521.2	V+D	
		10. 9.	6106 - 6124	521.3	V+D	25) FD

Tabelle 2.1: Fortsetzung 2

Tableau 2.1: Continuation 2

Nr. 1)	Gletscher	Aufnahmedatum		Luftbild- nummern	Fluglinie Nummer	Aufnahme durch <sup>2)</sup>	Fuss- note
		1990	1991				
16	Findelen	22. 8.		2478 - 2496	525	V+D	26)
			4. 9.	5629 - 5647	525	V+D	26)
19	Turtmann Diablons	22. 8.		2443 - 2456	531	V+D	27)
			28. 8.	5046 - 5059	531	V+D	27)
TB	Toumelon Blanc	23. 8.		2647 - 2653	552	V+D	28)
			28. 8.	5096 - 5101	552	V+D	28)
37	Giétro	23. 8.		2638 - 2646	551.1	V+D	
				2625 - 2637	551.2	V+D	29)
				2654 - 2661	551.3	V+D	30)
			28. 8.	5111 - 5119	551.1	V+D	
			28. 8.	5120 - 5134	551.2	V+D	
			28. 8.	5135 - 5142	551.3	V+D	30)
38	Corbassière	23. 8.		2700 - 2714	541.1	V+D	
				2662 - 2672	541.2	V+D	31)
			28. 8.	5156 - 5171	541.1	V+D	
			28. 8.	5187 - 5197	541.2	V+D	32)
42 An 108	Saleina Aneuve Orny	23. 8.		2673 - 2685	553.2	V+D	33)
43	Trient	23. 8.		2715 - 2727	553.1	V+D	
			28. 8.	5143 - 5155	553.1	V+D	
			28. 8.	5174 - 5186	553.2	V+D	34)
55	Trift (Gadmen)	20. 8.		2227 - 2239	201.1	V+D	
				2209 - 2226	201.2	V+D	35)
				2589 - 2598	201.3	V+D	
			22. 8.	5017 - 5028	201.1	V+D	36)
			22. 8.	5029 - 5045	201.2	V+D	37)
			22. 8.	5007 - 5016	201.3	V+D	
Ba Al	Balmhorn Altels	2. 8.		4512 - 4520	1a	L+T	
			21. 8.	8116 - 8127	1a	L+T	38)
78 114	Limmern Plattalva	28. 9.		6003 - 6012	17	L+T	39)
				6033 - 6045	78	L+T	40)
			20. 8.	8046 - 8057	17	L+T	39)
90	Silvretta	23. 8.		2563 - 2574	131	V+D	
			30. 8.	5325 - 5336	131	V+D	41)
94	Morteratsch	23. 8.		2536 - 2555	801.1	V+D	
				2556 - 2562	801.2	V+D	
			30. 8.	5368 - 5386	801.1	V+D	FD
			30. 8.	5337 - 5344	801.2	V+D	42)
104	Basodino	22. 8.		2387 - 2397	671	V+D	
			18. 9.	6227 - 6237	671	V+D	

Tabelle 2.1: Fortsetzung 3

Tableau 2.1: Continuation 3

b) Mehrjährlich - *Pluriannuels*

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

No. 1)	Glacier	Date du levé 1990 1991	Clichés numéros	Ligne de vol no.	Levé par 2)	Note expl.
53	Stein	21. 8.	8072 - 8080	35	L+T	35)
54	Steinlimmi					
72	Brunni	3. 8.	4645 - 4652	72	L+T	43)
73	Hüfi	28. 9.	6046 - 6058	73	L+T	
74	Griess (Uri)	3. 8.	4653 - 4662	74	L+T	44)
C1	Clariden	28. 9.	6013 - 6024	75	L+T	
77	Biferten	3. 8.	4663 - 4669	77	L+T	45)
81	Pizol	3. 8.	4670 - 4673	81	L+T	
82	Lavaz	3. 8.	4634 - 4644	82	L+T	46)
85	Vorab	23. 8.	5147 - 5150	85	L+T	
88	Porchabella	20. 8.	8034 - 8045	58	L+T	47)
89	Verstankla	20. 8.	8001 - 8017	43	L+T	48)
96	Tiatscha					
92	Roseg	16. 8.	7936 - 7946	51	L+T	49)
93	Tschierva					
94	Morteratsch	6. 9.	8753 - 8760	49	L+T	50)
95	Calderas	16. 8.	7900 - 7913	54	L+T	51)
97	Sesvenna	20. 8.	7991 - 8000	41	L+T	
98	Lischana	20. 8.	7980 - 7990	42	L+T	52)
99	Cambrena	16. 8.	7922 - 7935	49	L+T	53)
100	Palü					
101	Paradisino (Campo)	16. 8.	7914 - 7921	50	L+T	
102	Forno	16. 8.	7947 - 7956	53	L+T	54)
102	Forno	16. 8.	7957 - 7971	52	L+T	55)
116	Albigna					
115	Scaletta	20. 8.	8018 - 8033	57	L+T	56)

Tabelle 2.1: Fortsetzung 4

Tableau 2.1: Continuation 4

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

Nr. 1)	Gletscher / Objekt	Aufnahmedatum		Luftbildnummern	Fluglinie Nummer	Aufnahme durch 2)	Fussnote
		1990	1991				
R	Randa		18. 9.	6195 - 6206	526.4	V+D	57)
FA	Finsteraar		23. 7.	1148 - 1157	1	V+D	
LA	Lauteraar		23. 7.	1158 - 1166	2	V+D	
59	Eiger	24.10.		203 - 217	211.1	V+D	FD
			10. 9.	6125 - 6138	211.1	V+D	58)
SA	Simplon-Almagellertal		30. 8.	5595 - 5617	4.3	V+D	59) IR
TZ	Turtmann-Zinal		30. 8.	5576 - 5594	5.2	V+D	60) IR
RF	Réchy-Moiry-Ferpècle		30. 8.	5559 - 5575	5.1	V+D	61) IR
VR	Val de Réchy		18. 9.	6207 - 6226	550	V+D	
AF	Avers-Bever-Flüela	24. 8.		2730 - 2752	3.1	V+D	62) IR
MB	Muragl-Bernina	24. 8.		2753 - 2770	3.2	V+D	63) IR
S	Schafberg	24.10.		4526 - 4541	802.2	V+D	FD
		24.10.		4542 - 4556	802.2	V+D	FD
M	Murtèl		30. 8.	5345 - 5367	803	V+D	

1 In Abbildung 3.1a bzw. 3.2a sind die Gletscher des Beobachtungsnetzes (s. Tab. 3.3) mit ihrer Nummer, die anderen mit ihren Initialen bezeichnet.

*Dans les figures 3.1a et 3.2a, les glaciers du réseau d'observations (v. tabl. 3.3) sont indiqués par leur numéro, les autres par leurs initiales.*

2 Die Flüge sind ausgeführt worden durch - *Les vols ont été effectués par:*

L+T: Bundesamt für Landestopographie - *Office fédéral de la topographie,*

V+D: Eidgenössische Vermessungsdirektion - *Direction fédérale des mensurations cadastrales.*

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

3 Trugberg, Kranzberg, Dreieckhorn	18 Faulen, Doldenhorn, Biberg, Tatlishorn, Schwarz, Rinderhorn
4 Mittelaletsch, Märjelensee	19 Gruben, Griessernen, Hohltrift, Bodmer
5 Grosses Gufer	20 Griessernen
6 Dard, Mauvais, Culand	21 Gersten (VS), Gelmer, Sidelen, Kehlen, Rotfirm
7 Gspaltenhorn, Vorderer Blüemlisalp, Öschinen, Fründen, Doldenhorn	22 Gersten (VS), Damma
8 Jungfraufirn, Ewigschneefeld	23 Ritz, Merezenbach, Sulz, Corno
9 Augstkumme, Wysstal, Hohkraut, Mellig, Bottarello (I)	24 Allalin, Roffel (I)
10 Kessjen, Fall, Bider	25 Hohlaub, Kessjen, Adler
11 Hohkraut, Trift, Weissmies, Laquin, Zibelenfluh	26 Triftji, Adler, Roffel (I)
12 Balfrin	27 Brunegg (Turtmann Ost)
13 Weingarten, Dürren	28 Bocheresse
14 Gabelhorn, Rothorn, Schali	29 Luette
15 Schali, Schmal, Ross	30 Cheillon, Luette, Lire Rose
16 Anen, Distlig, Lauibach, Augstkummen, Birch, Hangend	31 Valsorey, Boveyre
17 Kalli, Guggi, Kühlaunen, Giessen, Rottal, Breitlaunen	32 Bocheresse, Sonadon, Valsorey, Tseudet

Tabelle 2.1: Fortsetzung 5

Tableau 2.1: Continuation 5

33 Dolent, Treutse, Bô, Darrey, Planereuses, Evole, Plines, Ravines Rousses, Arpette, Petoudes, Grands, Berons	48 Silvretta, Kamm, Plan Rai, Vernela
34 Aneuve, Plines, Ravines Rousses, Arpette, Petoudes, Grands, Tour Noir, Améthystes (F), Milieu (F), Char-donnet (F)	49 Misaun
35 Taleggi, Gigli, Drosi, Wallenbur, Kalchtal	50 Tschierva, Fellaria (I), Scerscen (I)
36 Stein, Steinlimmi, Taleggi, Gigli, Drosi	51 Agnel, Laviner
37 Gelmer, Stein, Kehlen, Rotfirm, Wallenbur, Kalchtal	52 Rims
38 Schwarz	53 Varuna
39 Biferten, Punteglias, Frisal	54 Rossi, Bacone
40 Selbsanft, Biferten	55 Castello, Cantone, Bacone
41 Tuoi, Vermunt (A), Ochsentaler (A), Klostertaler (A)	56 Kühalp, Grialetsch, Sarsura
42 Prievlus, Dadains, Mez, Dadoura, Misaun, Palü, Fella-ria (I), Scerscen (I), Caspoggio (I)	57 Bergsturz
43 Stalden	58 Guggi, Kühlauenen
44 Im Griess, Clariden	59 Sirwolten bis Tälliboden
45 Vorder Rôti	60 Bella Tola bis Zinal
46 Medel, Platta	61 Sasseneire bis Ferpècle
47 Viluoch	62 Val Bercla, Calderas, Agnel u.a.
	63 Morteratsch, Fellaria (I), Scerscen (I)
	FD Farbdiapositive
	IR Infrarot-Farbdiapositive

## 3. LÄNGENÄNDERUNG

### 3.1 EINLEITUNG

Die Ergebnisse der Beobachtungen am Netz der GK/SANW sind in Tabelle 3.1 für das erste, in Tabelle 3.2 für das zweite der beiden Berichtsjahre zusammengefasst. Die Kartenskizzen der Abbildungen 3.1b und 3.2b geben eine Übersicht der Einzelergebnisse, die in Tabelle 3.3 zusammengestellt und grossenteils durch besondere in Kapitel 3.4 zusammengefasste Bemerkungen der Beobachter kommentiert sind. In Abbildung 3.3 sind die Hauptergebnisse der 112 Berichtsjahre seit 1880 zusammenfassend dargestellt durch die jährlichen Angaben über a) die Zahl der klassierten und der für die Berechnung der mittleren Längenänderung berücksichtigten Gletscher, b) den Prozentanteil wachsender, stationärer und schwindender Gletscher sowie c) den Wert der durchschnittlichen Längenänderung. 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.-112. Bericht für die Jahre 1979/80-1990/91.

Neuerdings ins Messnetz aufgenommen und in der Statistik berücksichtigt ist der **Croslinagletscher** am Campo Tencio, der von den Tessiner Förstern seit 1989 vermessen wird.

### 3.2 LÄNGENÄNDERUNG 1989/90

Aus den in Tabelle 3.1 und Abbildung 3.3 dargestellten Daten ist ersichtlich, dass der Gletscherschwund in den Schweizer Alpen im Berichtsjahr mit kaum veränderter Tendenz angedauert und sich etwa gleichermassen wie in den vorangehenden Jahren verstärkt hat. Der Anteil der wachsenden Gletscher ist auf einen Achtel gesunken, der Anteil der schwindenden über vier Fünftel gestiegen. Diese Werte liegen auf der Schwundseite weit über dem Durchschnitt der Beobachtungsreihe 1880-1990 und zwar an der Grenze zwischen normaler und starker Abweichung vom Mittelwert. Gleichsinnig und nur wenig geringer ist die Abweichung bei der mittleren Längenänderung. Im Durchschnitt der 111 Jahre wies die Stichprobe N mit 77 Beobachtungen ziemlich genau ein Viertel wachsender, ein Zwölftel stationärer und zwei Drittel schwindender Gletscher auf und die Stichprobe M ergab aus 62 Messwerten einen durchschnittlichen Längenschwund um 6.9 m/Jahr. Diese Zahlen beschreiben ebenfalls Schwundverhältnisse, entsprechend der langfristig vorherrschenden Tendenz. Bei allen Vergleichen, die sich wie die nachstehenden darauf beziehen, ist dieser Umstand zu berücksichtigen.

Die Werte des Berichtsjahrs liegen nahe am statistischen Grenzwert (Quartil), der besagt, dass in einem Viertel der erfassten Fälle (also in 28 der 111 Jahre) stärkerer Schwund auftrat. Demnach liegt das Berichtsjahr - als Extremjahr der Periode 1964-90 - etwa an 25. bis 30. Stelle hinter dem Extremjahr der Periode 1880-1990. Darin zeigt sich die Problematik in der Wertung des Einzelfalles bei kurzen Messreihen: ein Schwundjahr wie 1989/90, das im Rahmen eines Vierteljahrhunderts als einmaliger Fall erscheint, erweist sich im Rahmen des vollen Jahrhunderts als ziemlich häufiger Fall, der durchschnittlich einmal in vier Jahren auftreten kann. Gesamthaft gesehen, stimmt das Ergebnis der Beobachtungen an den Gletscherzungen gut überein mit dem Ergebnis der Massenbilanzen: das Berichtsjahr ist auch in Bezug auf die Längenänderung als starkes, jedoch nicht extremes Schwundjahr zu betrachten. Vergleichbarer oder stärkerer Schwund ist von 1929 bis 1964 in den meisten Jahren, seither jedoch nur ausnahmsweise aufgetreten.

Zu den 14 Gletschern, die im Berichtsjahr in der Länge zugenommen haben, gehören Gletscher aller Grössenklassen, vom zweitkleinsten des Beobachtungsnetzes (**Grand Plan Névé**, Fläche 0.2 km<sup>2</sup>) bis zum fünftgrössten (**Oberaletsch**, 21.7 km<sup>2</sup>). Bei den grossen und flachen Gletschern wie **Oberaletsch**, **Corbassière**, **Zmutt**, **Damma** und **Schwarzberg** entspricht das späte Vorstossen etwa der erwarteten längeren Reaktionszeit. Bei steilen und langen aber schmalen Gletschern wie **Brunegg**, **Tsiddjore Nouve**, **Valsorey** und **Rossboden** dürften ausserdem Rutschungen oder andere Eigentümlichkeiten im Bewegungsverhalten mitgespielt haben. Beim **Oberaar** war die Kalbungsfront weniger lang und weniger hoch eingestaut als im Vorjahr. Eher wider Erwarten sind auch kleine, aber ziemlich steile Kargletscher in verschiedenen Gebieten vorgestossen: **Mutt** am Furkapass, **Paradisino** oder **Vedreit da Camp** im Puschlav sowie **Paneirosse** und **Grand Plan Névé** in den Waadtländer Alpen. Die beiden letztgenannten liegen im Gebiet mit dem grössten Niederschlagsüberschuss, bei den andern ist als Ursache des Vorstossens erhöhte Fliessgeschwindigkeit eher zu vermuten als besondere, von den regionalen Verhältnissen abweichende lokale Klimabedingungen.

Bei den stationären Gletschern sind mit einem grossen flachen (**Lang**) und einem kleinen steilen Gletscher (**Bella Tola**) nebst vier mittelgrossen steilen Gletschern (**Limmern**, **Tiatscha**, **En Darrey** und **Tseudet**) die gleichen Kategorien wie bei den wachsenden vertreten und ebenfalls alle Grössenklassen.

### 3.3 LÄNGENÄNDERUNG 1990/91

Die Zahlen und Figuren zeigen es deutlich: der Gletscherschwund in den Schweizer Alpen hat sich im Berichtsjahr mit unverminderter Intensität fortgesetzt und mit unveränderter Tendenz weiter verstärkt. Der Anteil der wachsenden Gletscher ist unter einen Zwölftel gesunken, der Anteil der schwindenden über neun Zehntel gestiegen und auch der Mittelwert der Längenänderung hat im Sinne des Schwundes zugenommen. Mit diesen Zahlenwerten ist das Jahr 1991 das zweitstärkste Schwundjahr in der mit den Massenbilanzreihen vergleichbaren Zeitspanne ab 1960, in der 1964 als stärkstes Schwundjahr auftritt. In den 112 Jahren seit 1880 war der Anteil der wachsenden Gletscher in 16 Jahren kleiner, der Anteil der schwindenden in 8 Jahren grösser und der mittlere Längenschwund in 24 Jahren grösser als im Berichtsjahr. Dieses gehört somit zum 1. Quartil der Stichprobe, in dem die 28 Jahre mit starker bis sehr starker negativer Abweichung vom Normalwert zusammengefasst sind. Das Vorjahr, bezüglich der Prozentanteile an 37. bzw. 30., bezüglich der Längenänderung an 39. Stelle eingereiht, lag gerade noch innerhalb des 2. Quartils mit den 28 Jahren, die vom Normalwert wenig oder mässig nach unten abweichen. Der Normalwert oder Median einer Stichprobe begrenzt deren untere Hälfte (1. und 2. Quartil) gegen die obere Hälfte (3. und 4. Quartil). Im Normaljahr, das durch die Medianwerte beschrieben ist, sind 80 Gletscherzungen beobachtet worden, nämlich 17 wachsende, 6 stationäre und 57 schwindende, aus 64 Messwerten hat sich ein mittlerer Längenschwund um 7.1 m ergeben. Das Normaljahr unterscheidet sich wenig vom Durchschnittsjahr der Stichprobe, das durch die Mittelwerte beschrieben ist und 78 beobachtete Zungen (ein Viertel wachsender, ein Zwölftel stationärer, zwei Drittel schwindender) und einen mittleren Längenschwund von 6.9 m (aus 62 Messwerten) aufweist. Weil die Stichprobe der 112 Jahre viel mehr Schwundjahre enthält als Zuwachsjahre (nur 14 Jahre mit über 50 % wachsender, 21 Jahre mit weniger als 50 % schwindender Gletscherzungen und 15 Jahre mit positivem Mittelwert der Längenänderung), entspricht der Normalfall wie der Durchschnittsfall einem ausgesprochenen Schwundjahr, was bei der Interpretation der Ergebnisse stets wieder in Erinnerung zu rufen ist.

Dass sich der Schwund im letzten Jahr hinsichtlich der Längenänderung verstärkt, hinsichtlich der Massenänderung jedoch eher abgeschwächt hat, ist nur scheinbar widersprüchlich. Für die Massenänderung sind die Klimabedingungen des Berichtsjahrs allein massgebend. Bei kleinen flachen Gletschern mit geringer Massenumlagerung durch die Gletscherbewegung, das Fliessen und Gleiten des Eises, trifft dies weitgehend auch für die Längenänderung zu, beispielsweise beim **Pizol** und **Sardona** [Renaud, 1963]. In den viel häufigeren übrigen Fällen hat die Umverteilung der Masse eine mehr oder weniger ausgleichende Wirkung, die je nach Grösse, Gestalt, Lagerung und Bewegungsverhalten des Gletschers über mehrere Jahre bis Jahrzehnte spürbar ist. Entsprechend der Glättung wirken sich Klimaänderungen mit einer unterschiedlichen, als Reaktionszeit für den Gletscher typischen Verzögerung auf die Längenänderung aus. Statistische Untersuchungen für die Periode 1950-1985 [Müller, 1988] ergaben für kleine Gletscher wie **Pizol** und **Sardona** oder **Bella Tola**, **Sulz**, **Lischana** u.a. eine Reaktionszeit von 1-7 Jahren, für die grössten wie **Grosser Aletsch**, **Gorner** und **Fiescher** eine solche von 20-25 Jahren.

Zu den Gletschern mit langer Reaktionszeit gehören die 4 grossen unter den 8 Gletschern, die im Berichtsjahr an Länge zugenommen haben. Von diesen ist der **Mont Durand** (seit 1954 jährlich, vorher nur zeitweise beobachtet) wohl zum ersten Mal seit den 1920er-Jahren vorgestossen. Der **Zmutt** ist wie der **Damma** bereits seit einigen Jahren dauernd, der **Turtmann** dagegen nur zeitweise vorgerückt. Zu

dieser Gruppe passt auch der **Roseg**, der in einzelnen Jahren vorgerückt, in anderen wie im Berichtsjahr stillgestanden ist, obwohl sein Zungenende (durch Abschmelzen und zusätzlich durch Abbrechen von Eisbergen in den vorgelagerten natürlichen See) besonders stark abgetragen wird. Von den 4 mittelgrossen und ziemlich steilen wachsenden Gletschern sind **En Darrey** und **Rossboden** seit einigen Jahren im Vorstoss. Die beiden andern sind bereits in früheren Jahren verschiedentlich durch angelagerten Firn (**Kaltwasser**) oder Lawinenschnee (**Suretta**) verlängert worden. Auf der Alpennordseite hat der **Damma**, auf der Alpensüdseite der **Rossboden** als einziger Gletscher an Länge zugenommen.

Der **Findelen** und der **Obere Grindelwald**, die vor gut einem Jahrzehnt durch besonders grosse Vorstossbeträge aufgefallen sind, gehören nun zu den Gletschern, die im Berichtsjahr besonders weit zurückgeschmolzen sind. Den grössten Längenschwund erlitt der **Cheillon**, dessen flache ausdünnende Zunge in den letzten zwei Jahren um 150 m kürzer wurde, gleichviel wie in den vorangehenden 16 Jahren seit 1973. In jenem Jahr ist sie durch die Abtrennung ihres vordersten Teils um 314 m verkürzt worden, nachdem sie von 1919 bis 1921 letztmals vorgestossen und von 1924 bis 1972 um insgesamt 282 m verkürzt worden war. Zum ebensostarken Schwund des **Mont Fort**, der von 1988 bis 1991 um 221 m kürzer geworden ist, hat möglicherweise die menschliche Betriebsamkeit im Gletscherskigebiet **Tortin** erheblich beigetragen. Jedenfalls hat der Beobachter im umgestalteten Vorgelände von den fünf alten, bis 1988 benutzten Messpunkten im Herbst 1991 nur noch einen einzigen wiedergefunden. Beim benachbarten **Grand Désert** ist die Verstärkung des Schwundes zurückzuführen auf die Bildung einer Kalbungsfront am natürlicherweise entstandenen kleinen See im Zungenbecken.

Im allgemeinen sind die Gletscher der Schweizer Alpen bereits wieder kürzer als zu Beginn des 1980er-Vorstosses, abgesehen von den Fällen, in denen der Schwund den Längenzuwachs erst teilweise rückgängig gemacht hat. Gemäss der durchschnittlichen Längenänderung, die von 1974 bis 1985 mit wechselnden positiven und negativen Jahreswerten um einen Stillstand pendelte, sind sie inzwischen um rund 45 m verkürzt worden, d.h. etwa gleichermassen wie im langjährigen Durchschnitt.

## 3. VARIATIONS DE LONGUEUR

### 3.1 INTRODUCTION

*Les résultats des observations faites sur le réseau de la CG/SHSN sont résumés dans les tableaux 3.1 et 3.2 pour chacune des années du rapport. Ils sont présentés in extenso sur les figures 3.1b et 3.2b ainsi que dans le tableau 3.3. Pour la plupart des glaciers, le résultat est commenté par l'observateur dans une note explicative que l'on trouve dans le chapitre 3.4. La figure 3.3 montre les résultats principaux des observations s'étendant sur 112 ans, soit de 1879/80 jusqu'à 1990/91, par les données suivantes: a) le nombre de glaciers observés et le nombre de valeurs comprises dans la moyenne de la variation en longueur, b) les pourcentages des glaciers en crue et des glaciers en décrue, c) la variation moyenne en longueur. Les chiffres, sur lesquels se fonde cette figure, sont publiés dans le tableau 35 des 99<sup>e</sup>/100<sup>e</sup> rapports [Kasser et al., 1986] pour la série centenaire de 1879/80 à 1978/79 et dans les 101<sup>e</sup>-112<sup>e</sup> rapports pour les années suivantes 1979/80-1990/91.*

*Un nouveau glacier a été intégré récemment dans ce réseau et apparaît pour la première fois dans les statistiques: c'est celui de **Croslina**, proche du Campo Tencio et mesuré par le service forestier tessinois depuis 1989.*

### 3.2 VARIATIONS DE LONGUEUR 1989/90

*Les données du tableau 3.1 et les courbes de la figure 3.3 donnent à penser que la tendance au retrait des glaciers des Alpes suisses s'est poursuivie et a augmenté de la même manière que ces dernières années. La proportion des glaciers en crue est tombée à un huitième, tandis que les glaciers en retrait représentent plus des quatre cinquièmes du total. Du côté du retrait, ces valeurs s'écartent fortement de la moyenne, calculée sur la série d'observations 1880-1990, et se situent à la limite entre une déviation normale et forte. Il en est presque de même pour l'écart par rapport à la variation moyenne de longueur.*

*Calculé sur 111 années, l'échantillon des langues glaciaires observées ( $N = 77$  observations) donne un quart de glaciers en crue, un douzième de glaciers stationnaires et deux tiers de glaciers en décrue. Quant aux variations de longueur, il résulte de l'échantillon des mesures ( $M = 62$  valeurs) une diminution moyenne de 6.9 m par an et par glacier. Ces chiffres décrivent donc bien les dimensions de ce retrait qui correspond à la tendance dominante à long terme. Il convient d'en tenir compte dans toutes les comparaisons que l'on peut être appelé à faire.*

*Les valeurs de l'exercice 1989/90 sont proches du quartile, valeur statistique qui indique un retrait plus important dans un quart des cas, c'est-à-dire 28 fois sur 111 ans. De plus, cet exercice, année de décrue extrême de la période 1964-1990, se trouve entre la 25<sup>e</sup> et la 30<sup>e</sup> place derrière le maximum absolu des années 1880-1990. Ceci nous dévoile un aspect de la problématique de l'interprétation des cas isolés issus de courtes séries: l'exercice 1989/90, qui apparaît comme une année de retrait exceptionnel dans le cadre d'une période de vingt-cinq ans, est finalement un cas assez fréquent, comparé à l'aune séculaire, puisqu'il peut survenir en moyenne une fois tous les quatre ans. D'une manière globale, le résultat des observations des langues glaciaires confirme celui des bilans de masse et cet exercice, au point de vue des variations de longueur des glaciers, peut aussi être qualifié d'année de retrait général marqué, sans être extrême. Des décrues analogues ou plus fortes ont été observées à de nombreuses reprises entre 1929 et 1964, mais exceptionnellement depuis lors.*

*Parmi les 14 glaciers du réseau d'observation dont la langue s'est allongée au cours de cet exercice figure l'un des plus petits (Grand Plan Névé, surface 0.2 km<sup>2</sup>, avant-dernier dans le classement) et l'un des plus grands (Aletsch supérieur, 21.7 km<sup>2</sup>, cinquième rang). Les vastes glaciers peu inclinés, tels ceux d'Aletsch supérieur, de Corbassière, de Zmutt, de Damma et de Schwarzberg, doivent leur crue tardive à leur temps de réaction plus long. Quant aux glaciers pentus, longs et étroits, tels ceux de Brunegg, de Tsidjiore Nouve, de Valsorey et de Rossboden, des glissements ou d'autres particularités ont contribué à leur comportement. Le front de vêlage du glacier supérieur de l'Aar était immergé durant une période et sur une hauteur moins importantes que l'année précédente. De manière inattendue, certains petits glaciers de cirque, à déclivité très forte, ont progressé dans diverses régions; il s'agit de ceux de Mutt, près du col de la Furka, de Paradisino (Vedreit da Camp), dans la vallée de Poschiavo, de Paneirosse et de Grand Plan Névé, dans les Alpes vaudoises. Ces deux derniers se trouvent dans la région d'excédent pluviométrique le plus élevé; quant aux autres, leur avance serait le résultat d'une vitesse d'écoulement accrue.*

*Pour les glaciers stationnaires, on trouve les mêmes caractéristiques: un grand glacier peu incliné (celui de Lang), un autre petit et abrupt (celui de Bella Tola) et quatre glaciers moyens et pentus (ceux de Limmern, de Tiatscha, d'En Darrey et de Tseudet).*

### 3.3 VARIATIONS DE LONGUEUR 1990/91

*Ces données et ces figures montrent, sans doute aucun, que la tendance au retrait des glaciers des Alpes suisses s'est poursuivie en se renforçant de la même manière que ces dernières années. La proportion des glaciers en crue est tombée au-dessous d'un douzième, tandis que les glaciers en décrue représentent plus des neuf dixièmes du total. Quant à la valeur moyenne de la variation de longueur des langues glaciaires, elle s'est également modifiée en faveur du retrait. Ce chiffres indiquent que l'année 1991 occupe la deuxième place dans le classement des années de décrue glaciaire sur la base des statistiques établies depuis 1960, la première revenant à 1964. Sur les 112 années de mesures disponibles depuis 1880, on constate que 16 exercices se signalent par une proportion plus faible de glaciers en crue, 8 par un nombre plus important de glaciers en décrue, et 24 par une diminution moyenne de longueur plus grande que ceux de l'exercice 1990/91. Celui-ci appartient donc au premier quartile de cet échantillon, comprenant les 28 années où l'on a observé un écart négatif important à très élevé par rapport à la médiane. L'exercice précédent (se situant à la trente-septième et à la trentième place dans le pourcentage des glaciers en crue et en décrue, et à la trente-neuvième quant à la variation de longueur) se range dans le deuxième quartile, constitué par les 28 exercices s'écartant un peu ou modérément de la médiane vers le bas. Cette dernière valeur statistique sépare donc l'échantillon considéré en deux moitiés égales, l'inférieure (1er et 2e quartiles) et la supérieure (3e et 4e quartiles). Une année dite normale, caractérisée par les valeurs médianes de la série de référence, est celle qui, sur 80 langues observées, en a vu 17 en crue, 6 stationnaires et 57 en décrue. De plus, elle est dotée de 64 mesures de longueur de langues glaciaires, donnant une diminution médiane de 7.1 m. Elle diffère très peu de l'année dite moyenne, décrite par les moyennes arithmétiques du même échantillon, lesquelles sont 78 langues glaciaires observées (un quart en crue, un douzième stationnaires et deux tiers en décrue) et 6.9 m de diminution moyenne de longueur (valeur calculée à partir de 62 mesures). Notre série statistique contenant donc beaucoup plus d'années de retrait que d'avance glaciaire (14 années avec plus de 50 % de glaciers en crue, 21 années avec moins de 50 % de glaciers en décrue, 15 années avec une variation moyenne de longueur positive), l'année normale ou moyenne correspond donc à un exercice où l'on a observé un retrait prononcé. C'est un fait dont il convient de tenir compte lors de toute interprétation des événements actuels.*

*Au cours du dernier exercice, la tendance au retrait s'est donc renforcée si l'on considère la longueur des langues glaciaires seulement, mais elle s'est affaiblie si, au contraire, l'on se limite à la variation de masse des glaciers observés. Mais cette contradiction apparente s'explique aisément. Il faut en effet se rappeler que seules les conditions climatiques de l'année en cours influencent la variation du bilan de masse, tandis que les variations de longueur les intègrent sur un nombre d'années plus ou moins grand, selon les dimensions du glacier. Dans ceux de petite taille et peu inclinés, le mouvement de la glace n'opère que des transferts de masse assez faibles, ce qui accroît l'influence des conditions climatiques de l'exercice en cours sur la variation de longueur comme, par exemple, aux glaciers de Pizol et du Sardona [Renaud, 1963]. Quant aux autres glaciers, beaucoup plus nombreux, les transferts de masse exercent une action compensatoire plus ou moins importante, se répercutant sur plusieurs années ou décennies selon la grandeur, la forme, la situation et le comportement de l'appareil glaciaire. Selon l'intensité de ce lissage, les modifications climatiques produisent leurs effets sur les variations de longueur des langues glaciaires avec un retard appelé temps de réaction, propre à chaque glacier. Selon des études statistiques portant sur les années 1950 à 1985 [Müller, 1988], il oscille entre 1 et 7 ans pour de petits glaciers tels que ceux du*

*Pizol et du Sardona, ou (parmi autres) ceux de Bella Tola, de Sulz et de Lischana, et entre 20 et 25 ans pour les plus grands tels que ceux d'Aletsch, du Gorner et de Findelen.*

*Quatre glaciers de grandes dimensions et au temps de réaction prolongé se trouvent au nombre des huit langues glaciaires dont la longueur a augmenté pendant cet exercice. Il est probable que celle du Mont Durand (observée chaque année depuis 1954, épisodiquement auparavant) ait progressé pour la première fois depuis les années vingt. Les glaciers de Zmutt et de Damma avancent régulièrement depuis plusieurs années, tandis que celui de Tourtemagne ne s'allonge que par épisodes. A ce groupe appartient aussi le glacier de Roseg, en crue certaines années, stationnaire d'autres, comme durant cet exercice, bien que l'extrémité de sa langue se soit fortement aplatie par fusion et vêlage d'icebergs dans le lac naturel qui lui fait suite. Parmi les quatre glaciers en crue, de dimensions moyennes et assez pentus, citons En Darrey et Rossboden, dont l'avance se poursuit depuis quelques années. Les deux autres ont progressé, comme pendant ces derniers exercices, par adjonction de névés (glacier de Kaltwasser) ou de cônes d'avalanches (glacier de Suretta). Un seul glacier est en crue sur chaque versant du massif alpin, celui de Damma au nord et celui de Rossboden au sud.*

*Les glaciers de Findelen et de Grindelwald supérieur, en crue particulièrement rapide depuis une bonne décennie, se sont notablement retirés pendant cette année. Mais c'est le glacier de Cheillon qui affiche le retrait le plus marqué; sa langue amincie et aplatie s'est raccourcie de 150 m pendant ces deux derniers exercices, distance aussi grande que durant les seize années précédentes depuis 1973. Cet été-là, il avait diminué de 314 m par séparation de sa partie antérieure, après s'être retiré sur 282 m entre 1924 et 1972. Sa dernière avance remonte donc aux années 1919 à 1921. Le retrait tout aussi sensible du glacier de Mont Fort (221 m entre 1988 et 1991) pourrait être partiellement attribué à l'activité humaine s'exerçant sur le domaine skiable de Tortin. De toute manière, l'observateur n'a retrouvé, en automne 1991, dans la région adjacente à cette langue glaciaire et bouleversée par l'homme, qu'un seul des cinq anciens repères utilisés jusqu'en 1988. Quant à l'accélération du recul du glacier voisin de Grand Désert, qui plonge maintenant dans un petit lac naturel apparu récemment, il faut l'attribuer à la formation d'un front de vêlage.*

*A l'exception des cas où le retrait actuel n'a que partiellement compensé l'avance des années précédentes, on peut affirmer que les glaciers des Alpes suisses sont maintenant tous plus petits qu'au début de la crue des années quatre-vingt. En outre, si l'on considère leur variation moyenne de longueur qui a stationné entre 1974 et 1985 par annulation des avances et des retraits, ils se sont raccourcis de 45 m depuis lors, ce qui correspond à peu près à la moyenne pluriannuelle.*

Tabelle 3.1: Längenänderung 1989/90 - Zusammenfassungen

a) Einzugsgebiete

Gebiet	Netz 1)	Stichprobe 2)	Anzahl Gletscher		
			wachsend <sup>3)</sup>	Klassen stationär <sup>4)</sup>	schwindend <sup>5)</sup>
Rhone (II)	52	49	10	4	35
Aare (Ia)	21	18	1	-	17
Reuss (Ib)	11	10	1	-	9
Linth/Limmat (Ic)	6	5	-	1	4
Rhein/ Bodensee (Id)	11	10	-	-	10
Inn (V)	7	7	-	1	6
Adda (IV)	5	4	1	-	3
Tessin (III)	8	8	1	-	7
<b>Total</b>	<b>121</b>	<b>111</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>91</b>

b) Gebirgsregionen

Gebiet	Netz n <sup>1)</sup>	Anzahl Gletscher n und Prozentanteil p der Klassen						
		Stichprobe (p = 100%) n <sup>2)</sup>	wachsend		Klassen stationär		schwindend	
			n <sup>3)</sup>	p [%]	n <sup>4)</sup>	p [%]	n <sup>5)</sup>	p [%]
Nördliche Hauptkette	56	51	5	8.8	3	5.9	43	84.3
- Nordseite (extern)	42	37	4		1		32	
- Südseite (intern)	14	14	1		2		11	
Südliche Hauptkette	65	60	9	15.0	3	5.0	48	80.0
- Nordseite (intern)	52	48	7		3		38	
- Südseite (extern)	13	12	2		-		10	
Externe Gebiete	55	49	6	12.2	1	2.0	42	85.7
Interne Gebiete	66	62	8	12.9	5	8.1	49	79.0
<b>Total</b>	<b>121</b>	<b>111</b>	<b>14</b>	<b>12.6</b>	<b>6</b>	<b>5.4</b>	<b>91</b>	<b>82.0</b>
Mittlere Längenänderung		89 <sup>6)</sup>		- 9.7 Meter / Gletscher				

- Nachstehend sind die Gletscher mit ihrer Nummer (1-120) aus Tab. 3.3 aufgezählt. Ihre Zuordnung zu den Einzugsgebieten (I-V) ist in Tab. 3.3 und in Abb. 3.1a ersichtlich. Die Grenze zwischen den Hauptketten folgt den Tälern oder Pässen: Col de Balme - Rhone - Furka - Urseren - Oberalp - Vorderrhein - Schanfigg - Flüela - unteres Innthal.
- Nicht beobachtet: 31, 32, 46, 67, 79, 110, 112, 113, 115, 116.
- Wachsende Gletscher: 2, 6, 10, 15, 20, 28, 38, 39, 44, 45, 50, 70, 101, 105.
- Stationäre Gletscher: 18, 21, 30, 40, 78, 96.
- Schwindende Gletscher: 1, 3-5, 7-9, 11-14, 16, 17, 19, 22-27, 29, 33-37, 41-43, 47-49, 51-66, 68, 69, 71-77, 80-95, 97-100, 102-104, 106-109, 111, 114, 117-120, Cr.
- Im Mittelwert ist das Ergebnis von 22 Gletschern nicht berücksichtigt aus folgenden Gründen:
  - Beeinflussung durch künstlichen See: 3, 50;
  - Wert für mehrere Jahre: 22, 23, 52, 75, 76, 81, 85, 100, 106, 114;
  - keine Zahlenangabe: 13, 49, 55, 56, 58, 72, 82, 83, 107, 108.

Tableau 3.2: Variations de longueur 1990/91 - Récapitulations

## a) Bassins versants

Région	Réseau 1)	Echantillon 2)	Nombre de glaciers		
			en crue <sup>3)</sup>	Classes stationnaires <sup>4)</sup>	en décrue <sup>5)</sup>
Rhône (II)	52	49	5	-	44
Aare (Ia)	21	18	-	-	18
Reuss (Ib)	11	7	1	-	6
Linth/Limmat (Ic)	6	6	-	-	6
Rhin/ Bodan (Id)	11	9	1	-	8
Inn (V)	7	7	-	1	6
Adda (IV)	5	5	-	-	5
Tessin (III)	8	8	1	-	7
<b>Total</b>	<b>121</b>	<b>109</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>100</b>

## b) Régions orographiques

Région	Réseau n 1)	Nombre de glaciers n et part relative p des classes Echantillon (p = 100%) n 2)	Classes					
			en crue n 3) p [%]		stationnaires n 4) p [%]		en décrue n 5) p [%]	
Chaînes septentrionales	56	47	1	2.1	-	-	46	97.9
- versant nord (externe)	42	34	1		-		33	
- versant sud (interne)	14	13	-		-		13	
Chaînes méridionales	65	62	7	11.3	1	1.6	54	87.1
- versant nord (interne)	52	49	6		1		42	
- versant sud (externe)	13	13	1		-		12	
Régions externes	55	47	2	4.2	-	-	45	95.8
Régions internes	66	62	6	9.7	1	1.6	55	88.7
<b>Total</b>	<b>121</b>	<b>109</b>	<b>8</b>	<b>7.3</b>	<b>1</b>	<b>0.9</b>	<b>100</b>	<b>91.8</b>
Variation moyenne de longueur		89 <sup>6)</sup>	- 12.4 mètres / glacier					

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

2 Glaciers non observés: 6, 46, 72, 73, 75, 76, 82, 84, 108, 110, 112, 113.

3 Glaciers en crue: 7, 15, 19, 30, 35, 70, 87, 105.

4 Glaciers stationnaires: 92.

5 Glaciers en décrue: 1-5, 8-14, 16-18, 20-29, 31-34, 36-45, 47-69, 71, 74, 77-81, 83, 85, 86, 88-91, 93-104, 106, 107, 109, 111, 114-120, Cr.

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

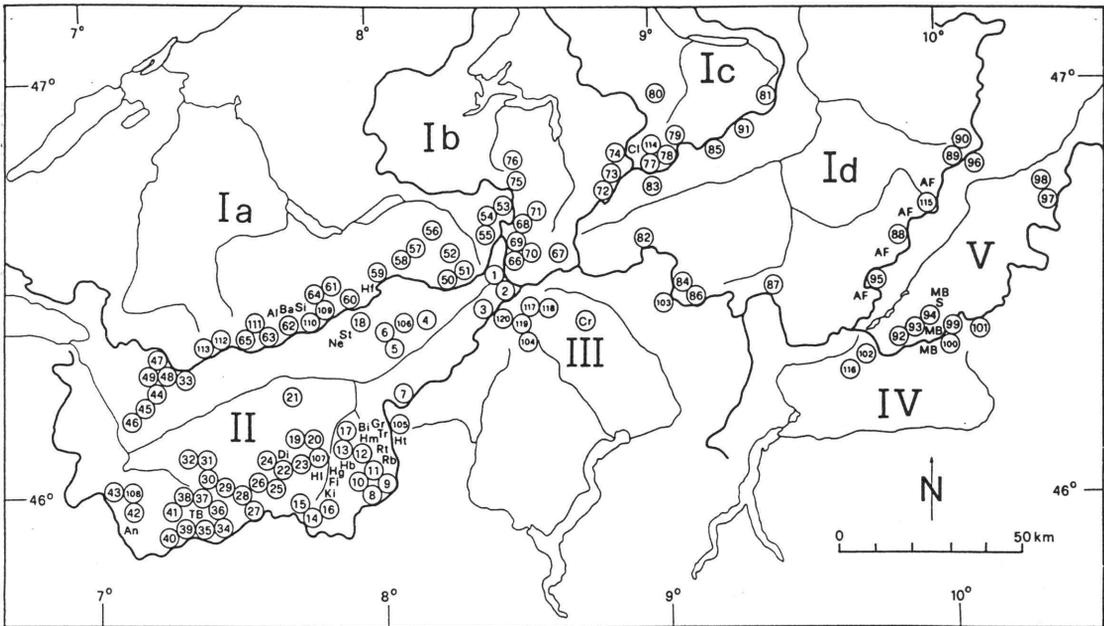
- influence d'un lac artificiel: 3, 50;

- valeur valable pour plusieurs années: 31, 32, 67;

- valeur non chiffrée: 9, 13, 30, 37, 48, 49, 55, 56, 58, 65, 79, 107, 115-117.

Abbildung 3.1: Gletscherbeobachtungsnetz 1990

a) Beobachtungen 1990



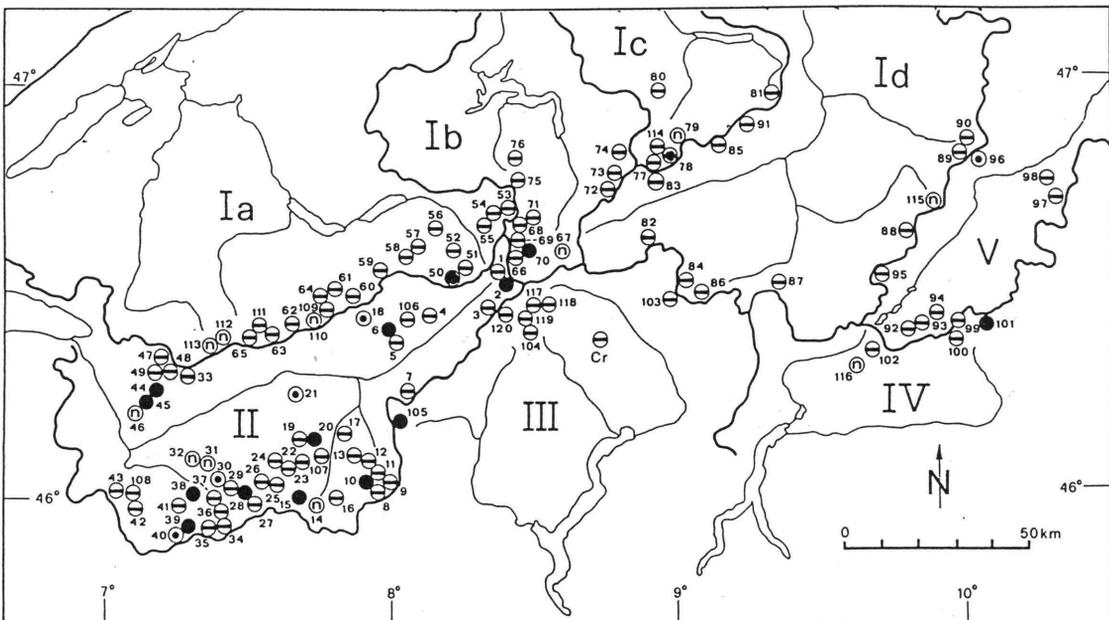
Legende:

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

AI-VR: andere Gletscher (Tab. 2.1)

I-V: Einzugsgebiete (Tab. 3.3)

b) Längenänderungen 1990



Legende:

● Vorstoss

⊙ stationär

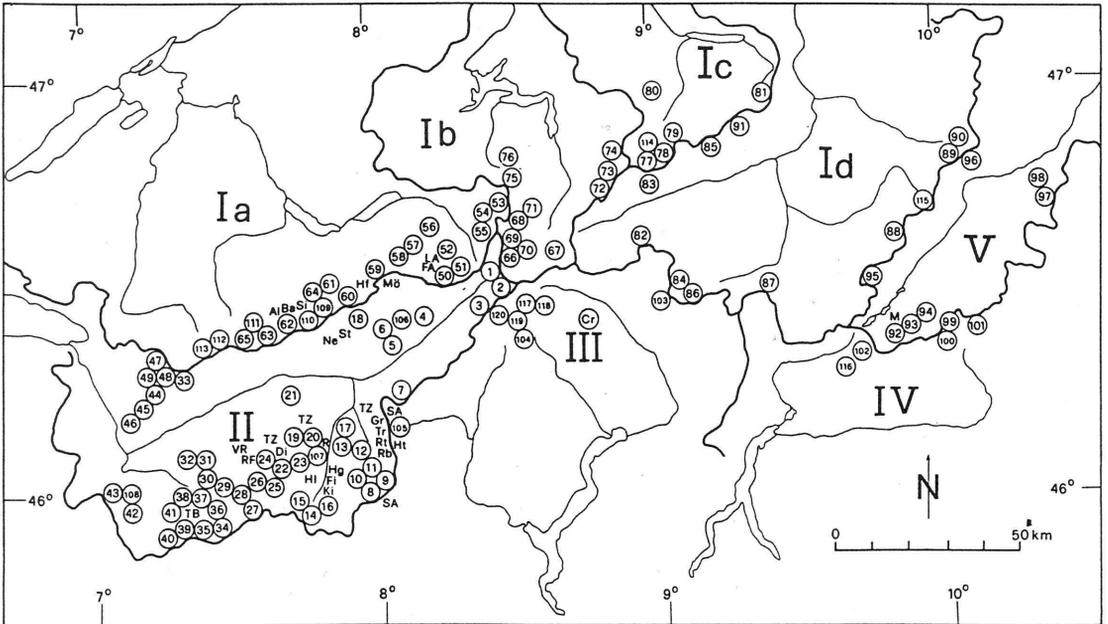
⊖ Rückzug

⊕ unbestimmt (eingeschnitten)

○ nicht beobachtet

Figure 3.2: Réseau d'observations glaciaires 1991

a) Observations 1991



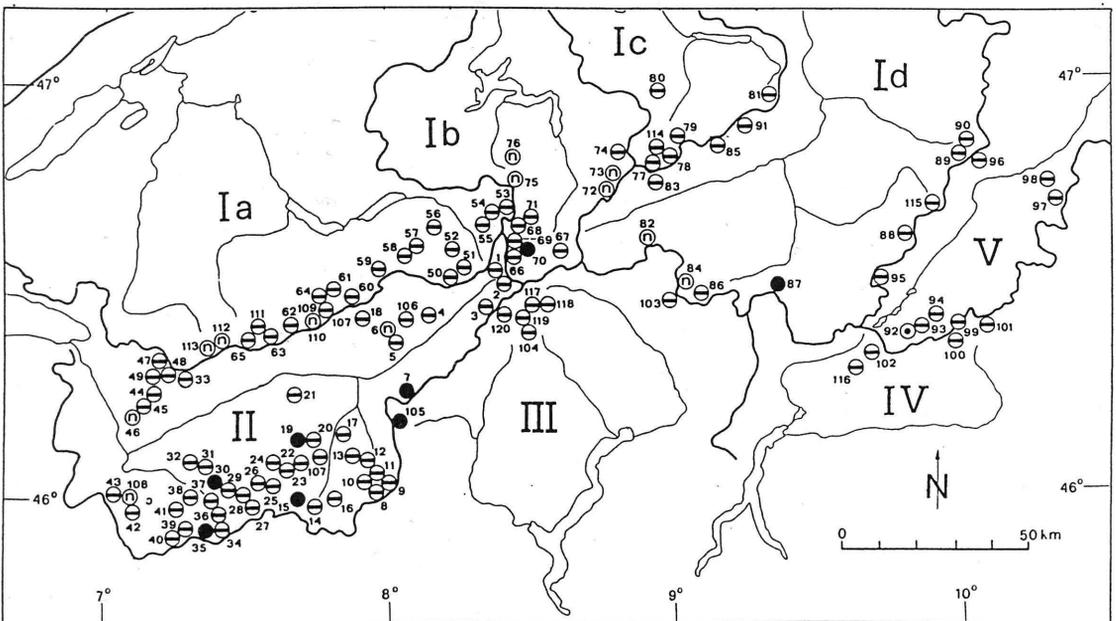
Légende:

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

AI-VU: autres glaciers (tabl. 2.1)

I-V: bassins versants (tabl. 3.3)

b) Variations de longueur 1991



Légende:

● avance

○ stationnaire

⊖ décrue

⊕ indéfini (sous la neige)

⊗ non observé

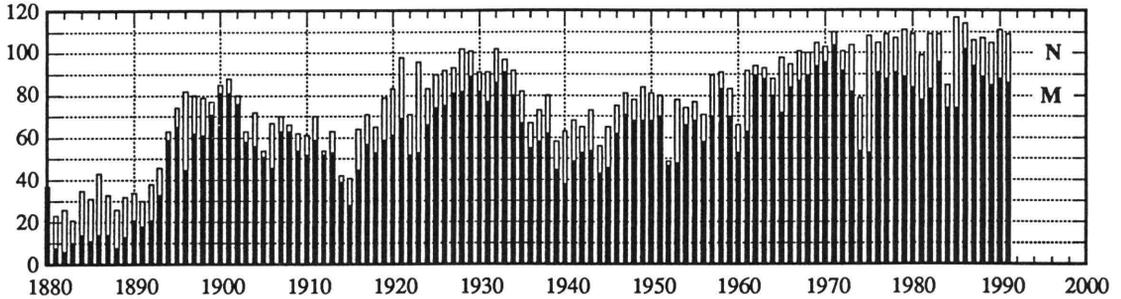
Abbildung 3.3: Längenänderung - Statistik 1880-1991

Figure 3.3: Variations de longueur - Statistique 1880-1991

a) Stichproben - Echantillons

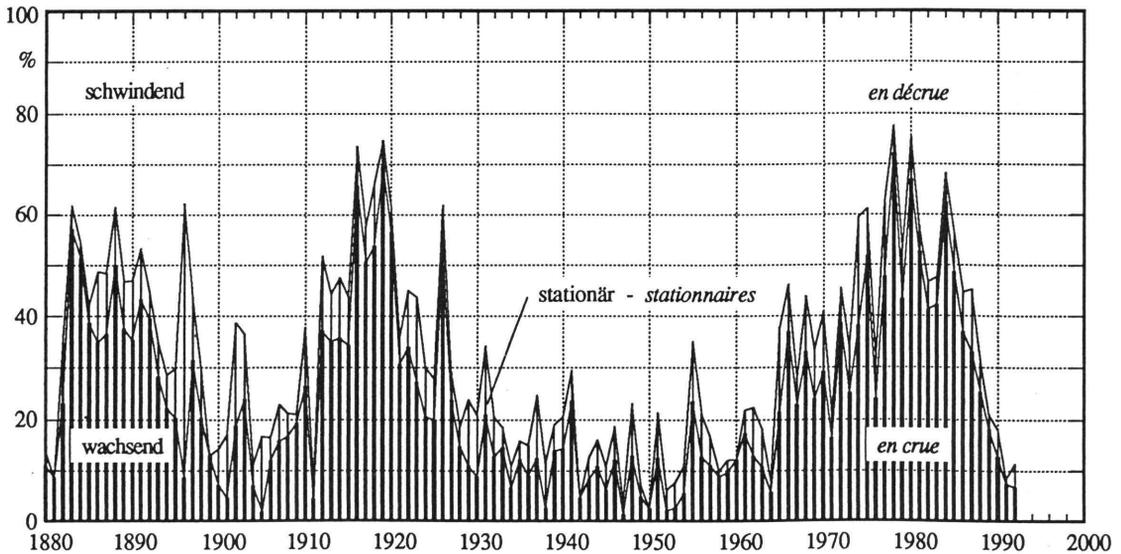
N = Anzahl klassierte Gletscher (Abb. 3.3b) - Nombre de glaciers classés (fig. 3.3b)

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



b) Anteile der wachsenden, stationären und schwindenden Gletscher

Parts relatives des glaciers en crue, stationnaires ou en décroissance



c) Mittlere Längenänderung - Variation moyenne de longueur

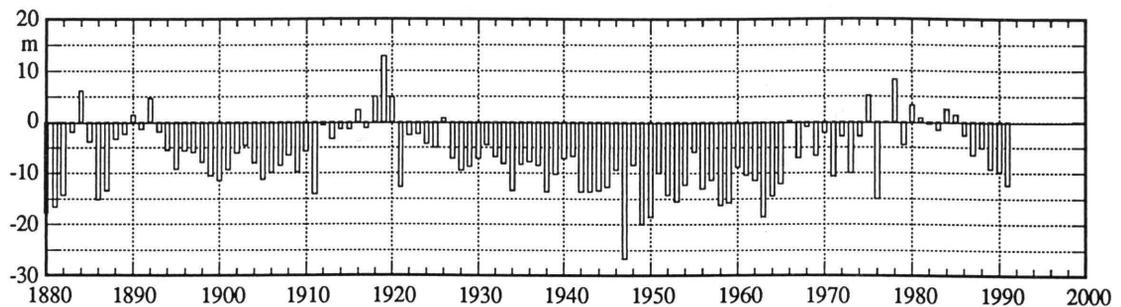


Tabelle 3.3: Längenänderung 1989/90 und 1990/91

Tableau 3.3: Variations de longueur 1989/90 et 1990/91

Nr. a)	Gletscher	Kt. b)	Längenänderung c)		Höhe d) [m ü.M.]	Messdatum [Tag, Monat]		
			1989/90	1990/91		1989	1990	1991
<b>Einzugsgebiet der Rhone - Bassin du Rhône (II)</b>								
1 <sup>e</sup>	Rhone	VS	- 16	- 31	2166	30. 8.	17. 8.	10. 8.
2	Mutt	VS	+ 4	- 5	2582	30. 8.	17. 8.	10. 8.
3 <sup>e</sup>	Gries	VS	- 6.2	- 8.8	2385.6	20. 9.	22. 8.	10. 9.
4 <sup>e</sup>	Fiescher	VS	- 1	- 6.2	1671.6	9. 9.	6.10.	8. 9.
5 <sup>e</sup>	Grosser Aletsch	VS	- 19.2	- 9	1554.9	2.12.	8.10.	20. 8.
106 <sup>e</sup>	Mittelaletsch	VS	- 86 <sup>4a</sup>	- 16	2284.4	8. 9.	6. 9.	5. 9.
6 <sup>e</sup>	Oberaletsch	VS	+ 24.0	n	2143.5	1.12.	7.10.	n
7 <sup>e</sup>	Kaltwasser	VS	- 41.1	+ 3.6	2660	29.10	13. 9.	11. 9.
8 <sup>e</sup>	Tälliboden	VS	- 7.9	- 7.9	2632.2	4.10.	1.10.	1.10.
9 <sup>e</sup>	Ofental	VS	- 84.1	- x	2688.9 <sup>90</sup>	4.10.	1.10.	1.10.
10	Schwarzberg	VS	+ 1.9	+ 6.0	2648.0	3.10.	28. 9.	11. 9.
11 <sup>e</sup>	Allalin	VS	- 57.3	- 34.6	2263.6	23.10.	23. 8.	11. 9.
12	Kessjen	VS	- 11.4	- 28	2877.7	2.10.	29. 9.	3.10.
13 <sup>e</sup>	Fee (Nord)	VS	- 5 ca.	- 10 ca.	1932 <sup>89</sup>	31.10.	22. 8.	10. 9.
14 <sup>e</sup>	Gorner	VS	- 8.5 ca.	- 4	2083 <sup>87</sup>	2.11.	20.10.	20.10.
15 <sup>e</sup>	Zmutt	VS	+ 7	+ 3	2242	29. 8.	16. 8.	12. 8.
16 <sup>e</sup>	Findelen	VS	- 58.4	- 61.2	2486.8	27.10.	22. 8.	4. 9.
107 <sup>e</sup>	Bis	VS	- x	- x	—	22. 9.	22. 8.	28. 8.
17	Ried	VS	- 7.6	- 6.2	2058.2	5.10.	26. 9.	30. 9.
18 <sup>e</sup>	Lang	VS	0	- 7	2028	23.10.	27.10.	16.10.
19 <sup>e</sup>	Turtmann	VS	- 9.9	+ 7.2	2261	13. 9.	18. 9.	18. 9.
20 <sup>e</sup>	Brunegg (Turtmann Ost)	VS	+ 2.8	- 5.2	2451	13. 9.	18. 9.	18. 9.
21 <sup>e</sup>	Bella Tola	VS	- 0.9	- 13.1	—	6.10.	12. 9.	11. 9.
22	Zinal	VS	- 82 <sup>2a</sup>	- 15	2030	n	13. 9.	27. 9.
23	Moming	VS	- 32 <sup>2a</sup>	- 9.6	2340	n	13. 9.	27. 9.
24	Moiry	VS	- 2.8	- 5.5	2390 <sup>83</sup>	28.10.	4.10.	9.10.
25	Ferpècle	VS	- 7.5	- 19.4	2095 <sup>83</sup>	14.10.	6.10.	4.10.
26	Mont Miné	VS	- 5.0	- 25.3	1963 <sup>83</sup>	14.10.	6.10.	4.10.
27	Arolla (Mont Collon)	VS	- 10.5	- 26.4	2135 <sup>83</sup>	14.10.	11.10.	5.10.
28	Tsidjiore Nouve	VS	+ 6.5	- 3.5	2205 <sup>83</sup>	14.10.	11.10.	5.10.
29 <sup>e</sup>	Cheillon	VS	- 70.6	- 79.3	2630 <sup>83</sup>	5.10.	4.10.	23.10.
30 <sup>e</sup>	En Darrey	VS	+ 0.7	+ x	2490 <sup>83</sup>	4.10.	3.10.	23.10.
31 <sup>e</sup>	Grand Désert	VS	n	- 73 <sup>2a</sup>	2760	1.10.	n	25. 9.
32 <sup>e</sup>	Mont Fort (Tortin)	VS	n	- 221 <sup>3a</sup>	2780	n	n	3.10.
33	Tsanfleuron	VS	- 9	- 15	2417 <sup>69</sup>	20.10.	11. 9.	25. 9.
34 <sup>e</sup>	Otemma	VS	- 27.7	- 13.3	2460	20. 9.	10. 9.	18. 9.
35 <sup>e</sup>	Mont Durand	VS	- 15.0	+ 23	2360	21. 9.	11. 9.	19. 9.
36 <sup>e</sup>	Breney	VS	- 12.3	- 11	2575	20. 9.	10. 9.	18. 9.
37 <sup>e</sup>	Giétro	VS	- 4.3	- x	2480 ca.	25.10.	23. 8.	28. 8.
38 <sup>e</sup>	Corbassière	VS	+ 8	- 15	2169	16. 9.	7. 9.	12. 9.

a-e Bemerkungen zu den Fussnoten und Legende der Abkürzungen siehe Seite 58

*Remarques ou notes explicatives et légende des abréviations voir page 58.*

Tabelle 3.3: Fortsetzung 1

Tableau 3.3: Continuation 1

No. <sup>a)</sup>	Glacier	Ct. <sup>b)</sup>	Variation de longueur <sup>c)</sup>		Altitude <sup>d)</sup> [m s.m.] 1991	Date des mesures [jour, mois]		
			1989/90	1990/91		1989	1990	1991
39	Valsorey	VS	+ 7.5	- 9.0	2395	4.10.	22. 8.	11.10.
40	Tseudet	VS	0	- 11.8	2425	4.10.	22. 8.	11.10.
41	Boveyre	VS	- 2.0	- 25.0	2605	4.10.	29. 8.	11.10.
42	Saleina	VS	- 15	- 23.5	1700.7	13.10.	10. 9.	16.10.
108 <sup>e)</sup>	Omy	VS	- x	n	—	25.10.	23. 8.	n
43 <sup>e)</sup>	Trient	VS	- 13	- 19	1753	25.10.	14.10.	8.10.
44 <sup>e)</sup>	Paneyrosse	VD	+ 1.1	- 6.8	—	2.10.	10.10.	19. 9.
45 <sup>e)</sup>	Grand Plan Névé	VD	+ 4.5	- 10.4	—	26. 9.	28. 9.	20. 9.
46	Martinet	VD	n	n	—	n	n	n
47 <sup>e)</sup>	Sex Rouge	VD	- 14.1 ca.	- 21.6 ca.	—	24. 8.	27. 9.	24. 9.
48 <sup>e)</sup>	Prapio	VD	- 10 ca.	- 15 ca.	—	11.10.	30. 9.	26.10.
49 <sup>e)</sup>	Pierredar	VD	- x	- x	—	8. 9.	11.10.	6. 9.
<b>Einzugsgebiet der Aare - Bassin de l'Aar (Ia)</b>								
50 <sup>e)</sup>	Oberaar	BE	+ 2.3	- 4.1	2300	15. 8.	20. 8.	22. 8.
51 <sup>e)</sup>	Unteraar	BE	- 41.4	- 16.6	1918	15. 8.	22. 8.	22. 8.
52 <sup>e)</sup>	Gauli	BE	- 38 <sup>2a)</sup>	- 11	2150	n	18.10.	19. 9.
53 <sup>e)</sup>	Stein	BE	- 2	- 5	1934	18. 9.	30. 9.	21. 9.
54	Steinlimmi	BE	- 4	- 12	2092	18. 9.	30. 9.	21. 9.
55 <sup>e)</sup>	Trift (Gadmen)	BE	- x	- x	1670 <sup>80)</sup>	20. 9.	6. 9.	22. 8.
56 <sup>e)</sup>	Rosenlauri	BE	- x	- x	1860 ca.	24. 8.	20. 8.	6. 9.
57	Oberer Grindelwald	BE	- 9	- 53	1250 ca.	11.10.	26.10.	19.10.
58 <sup>e)</sup>	Unterer Grindelwald	BE	- x	- x	—	11.10.	6.10.	21. 9.
59 <sup>e)</sup>	Eiger	BE	- 16.3	- 28.4	2115	21. 9.	20. 9.	24. 9.
60 <sup>e)</sup>	Tschingel	BE	- 2.5	- 9.0	2260	22. 9.	21. 9.	25. 9.
61	Gamchi	BE	- 2.4	- 3.1	1990	26. 9.	14. 9.	5. 9.
109 <sup>e)</sup>	Alpetli	BE	- 7.3	- 1.7	2250	21. 9.	11. 9.	12. 9.
110	Lötschberg	BE	n	n	—	6.12.	n	n
62 <sup>e)</sup>	Schwarz	VS	- 17.3	- 8.4	2230	15. 9.	14. 9.	5.10.
63 <sup>e)</sup>	Lämmern	VS	- 5.7	- 10	2520 <sup>88)</sup>	14. 9.	15. 9.	1.10.
64 <sup>e)</sup>	Blümlisalp	BE	- 5.5	- 11.2	2250	22. 9.	14. 9.	24. 9.
111 <sup>e)</sup>	Ammerten	BE	- 3.4	- 5.9	2345 ca.	15.10.	3.10.	22.10.
65 <sup>e)</sup>	Rätzli	BE	- 22	- 20 ca.	2430	5.10.	22.10.	9.10.
112	Dungel	BE	n	n	2465 <sup>85)</sup>	18.11.	n	n
113	Gelten	BE	n	n	2295 <sup>69)</sup>	19.11.	n	n
<b>Einzugsgebiet der Reuss - Bassin de la Reuss (Ib)</b>								
66 <sup>e)</sup>	Tiefen	UR	- 11.5	- 14.1	2500 <sup>88)</sup>	27. 9.	12. 9.	17. 9.
67	Sankt Anna	UR	n	- 12.2 <sup>2a)</sup>	2580	28. 9.	n	17. 9.
68	Kehlen	UR	- 5.9	- 14.0	2078 <sup>89)</sup>	20. 9.	13. 9.	11. 9.
69 <sup>e)</sup>	Rotfirm (Nord)	UR	- 7.2	- 5.0	2031 <sup>89)</sup>	20. 9.	13. 9.	11. 9.
70 <sup>e)</sup>	Damma	UR	+ 1.8	+ 2.3	2044 <sup>64)</sup>	20. 9.	13. 9.	11. 9.
71	Wallenbur	UR	- 2	- 6	2238	6.10.	26. 9.	9.10.
72 <sup>e)</sup>	Brunni	UR	- x <sup>6a)</sup>	n	—	n	13. 9.	n
73 <sup>e)</sup>	Hüfi	UR	- 3.9	n	—	24.10.	14. 9.	n
74 <sup>e)</sup>	Griess	UR	- 16.2	- 34.0	2218	2.10.	2.10.	4.10.
75 <sup>e)</sup>	Firnalmeli (Ost)	OW	- 4.5 <sup>2a)</sup>	n	2160 <sup>86)</sup>	n	10. 8.	n
76 <sup>e)</sup>	Griessen	OW	- 5.8 <sup>2a)</sup>	n	2550 <sup>87)</sup>	n	24. 8.	n

Tabelle 3.3: Fortsetzung 2

Tableau 3.3: Continuation 2

Nr. a)	Gletscher	Kt. b)	Längenänderung c)		Höhe d) [m ü.M.]	Messdatum [Tag, Monat]		
			1989/90	1990/91		1989	1990	1991
<b>Einzugsgebiet der Linth/Limmat - Bassin de la Linth/Limmat (Ic)</b>								
77 e	Biferten	GL	- 5	- 4	1901.2	2.10.	29. 9.	14. 8.
78 e	Limmern	GL	- 0.1	- 4.9	2260	27.10.	16.10.	25. 9.
114 e	Plattalva	GL	- 53.1 5a	- 10	2565	25. 8.	17.10.	25. 9.
79 e	Sulz	GL	n	- 9.7 2a	1785	5.10.	n	26.10.
80 e	Glärnisch	GL	- 3	- 5.4	2291.6	21. 8.	20. 8.	27. 8.
81 e	Pizol	SG	- 21.4 2a	- 22.4	2600	n	18. 9.	26. 9.
<b>Einzugsgebiet des Rheins/Bodensee - Bassin du Rhin/Bodan (Id)</b>								
82 e	Lavaz	GR	- x	n	2285 89	4.10.	3. 8.	n
83 e	Punteglias	GR	- x	- 22	2365	23.10.	28. 9.	4.10.
84 e	Lenta	GR	- 23.3	n	2310	6.10.	28. 9.	n
85 e	Vorab	GR	- 55.7 2a	- 29.1	—	n	29. 9.	4. 9.
86 e	Paradies	GR	- 12.5	- 21.2	2403.4	8. 9.	10. 9.	18. 9.
87 e	Suretta	GR	- 32.0	+ 47.5	2209.7	15. 9.	18. 9.	11. 9.
115 e	Scaletta	GR	n	- x 6a	—	n	n	20. 8.
88 e	Porchabella	GR	- 6.8	- 9.3	2640.7	15. 9.	3.10.	26. 9.
89 e	Verstankla	GR	- 2	- 6	2390	26. 8.	28. 8.	28. 8.
90 e	Silvretta	GR	- 13.0	- 9.2	2438.8	20. 9.	19. 9.	30. 8.
91 e	Sardona	SG	- 3.6	- 22.6	2500	25. 9.	14. 9.	18. 9.
<b>Einzugsgebiet des Inns - Bassin de l'Inn (V)</b>								
92 e	Roseg	GR	- 7.0	+ 0.3	2159	28. 9.	10.10.	13. 8.
93 e	Tschierva	GR	- 10.5	- 8.7	2142	28. 9.	10.10.	13. 8.
94 e	Morteratsch	GR	- 11.1	- 4.8	2031	1.11.	19. 9.	10.10.
95 e	Calderas	GR	- 11.6	- 17.0	2731	18.10.	26. 9.	1.10.
96 e	Tiatscha	GR	0	- 10	2500	4.10.	3.10.	5.10.
97 e	Sesvenna	GR	- 3.5	- 6.9	2760	23. 9.	22. 9.	31. 8.
98 e	Lischana	GR	- 2.9	- 4.9	2750	30. 9.	15. 9.	17. 8.
<b>Einzugsgebiet der Adda - Bassin de l'Adda (IV)</b>								
99 e	Cambrena	GR	- 1.5	- 4.5	2520	14.10.	27. 9.	4.10.
100 e	Palù	GR	- 15.9 2	- 12.0	2330	n	18.10.	29.10.
101 e	Paradisino (Campo)	GR	+ 9	- 11.5	2825	16. 9.	29. 9.	14. 9.
102 e	Forno	GR	- 18.5	- 18.7	2225	5.10.	3.10.	10.10.
116 e	Albigna	GR	n	- x 6a	2163	n	n	16. 8.
<b>Einzugsgebiet des Tessins - Bassin du Tessin (III)</b>								
120 e	Corno	TI	- 3.5	- 6.5	2570	12. 9.	30. 8.	30. 8.
117 e	Valleggia	TI	- 6.8	- x	2420	15. 9.	7. 9.	25. 9.
118 e	Val Torta	TI	- 2.3	- 9.1	2535	15. 9.	10. 9.	6. 9.
103 e	Bresciana	TI	- 5.8	- 12.0	2730	19. 9.	25. 9.	24. 9.
119 e	Cavagnoli	TI	- 15.7	- 16.0	2590	26. 9.	12. 9.	11. 9.
104 e	Basodino	TI	- 2.9	- 1.9	2520	25. 9.	11. 9.	10. 9.
Cr e	Croslina	TI	- 3.3	- 6.0	2670	21. 9.	6. 9.	18. 9.
105 e	Rossboden	VS	+ 3.0	+ 2.4	1950	12. 9.	13. 9.	11. 9.

Tabelle 3.3: Legende und Bemerkungen

Tableau 3.3: Légende et remarques

**Abkürzungen**

+	im Vorstoss
st	stationär
-	im Rückzug
ca.	ungefährer Wert
x	Betrag nicht bestimmt
n	nicht beobachtet

**Abréviations**

+	<i>en crue</i>
st	<i>stationnaire</i>
-	<i>en décroue</i>
ca.	<i>valeur approximative</i>
x	<i>valeur non déterminée</i>
n	<i>non observé</i>

**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 Zungene 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<sup>4a</sup> = 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<sup>4a</sup> = avance de 87 mètres en 4 ans.*
- d Ist die verzeichnete Höhenkote des Gletscherendes oder des Gletschertors nicht im Jahr 1991 gemessen, ist das Jahr der Messung angegeben: 2326.2<sup>80</sup> = Meereshöhe 2326.2 m, bestimmt im Jahr 1980.  
*Si l'altitude indiquée de la langue terminale ou du portail glaciaire n'a pas été déterminée en 1991, l'année de la mesure est indiquée: 2326.2<sup>80</sup> = cote 2326.2 m, déterminée en 1980.*
- e Siehe Kapitel 3.4: Bemerkungen zu einzelnen Gletschern.  
*Voir chapitre 3.4: Remarques concernant des glaciers individuels.*

### 3.4 BEMERKUNGEN ZU EINZELNEN GLETSCHERN

#### 3.4 REMARQUES CONCERNANT DES GLACIERS INDIVIDUELS

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

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

#### 1 Rhone

**1990:** Le recul est dû à l'été chaud, la langue étant très exposée au soleil (P. Mercier).

**1991:** Le recul est dû à un écroulement du front qui formait, le 10.8.1991, un névé prolongeant le front et simulant une avance locale de celui-ci. Des mesures de contrôle effectuées le 5.10.1991 montrent que ce névé a beaucoup diminué et qu'il s'est séparé du front qui a reculé de 14 m durant ces deux mois. Le recul constaté de 31 m, le 10 août, est calculé sans tenir compte du névé temporaire (P. Mercier).

#### 3 Gries (Ägina)

**1990:** Vermessungsflug am 22.8.1990, ausgewertet durch A. Käab am Autographen der VAW. Die Kalbungsfrent am Gletscherende besteht aus drei bogenförmigen, auf beiden Ufern und auf zwei Felsrippen im See abgestützten Gewölben. Die Abbruchwand ist im nördlichen Gewölbe bis 10 m zurückgeschmolzen, in den übrigen Teilen stellenweise auch vorgerückt. Im höchsten Punkt (2413.2 m ü.M) liegt sie 28.5 m über dem Seespiegel (bzw. 26 m über dem Stauziel). Ihre mittlere Höhe hat um rund 3.5 m abgenommen. Die Haushaltmessungen, ausgeführt durch M. Funk (VAW), ergeben nach der bisherigen Berechnungsweise den grössten Massenschwund (204 cm Wasserwert) der Messreihe mit Beginn im Jahr 1961 und bisher stärkstem Schwund (111 cm) im Jahr 1970/71. Nach neu berechneten Werten betrug der Schwund im Jahr 1971 nur 88 cm und war geringer als in späteren Jahren, nämlich 1973 (98 cm), 1976 (99), 1979 (89), 1982 (95), 1987 (92), 1988 (121) und 1989 (112 cm), die somit die "sieben mageren Jahre" der Periode 1961-1990 darstellen (VAW - M. Aellen).

**1991:** Vermessungsflug am 10.9.1991, ausgewertet durch W. Nobs am Autographen der VAW. Die Abbruchwand am Zungenende liegt grösstenteils hinter dem Seeufer. Nur im innersten Teil der drei Buchten ist das Eis vom See unterschritten. Die Abbruchkante liegt infolge des Rückgangs im Durchschnitt um 3.1 m, im höchsten Punkt um 1 m höher als im Vorjahr. Für die Massenänderung, am Pegelnetz der VAW ermittelt durch M. Funk, hat sich bei vollständiger Ausaperung des Gletschers ein durchschnittlicher Eisabtrag um 163 cm ergeben, rund 40 cm weniger als im Vorjahr, aber mehr als in allen übrigen Jahren der Messperiode 1961-1991 (VAW - M. Aellen).

#### 4 Fiescher

**1990:** Das Zungenende ist im Gletschertor und auf der Westseite bis 20 m zurückgeschmolzen, auf der schuttbedeckten Ostseite fast ebensoweit vorgerückt (VAW - M. Aellen).

**1991:** Das grosse Torgewölbe hat sich in den beiden letzten Jahren vom Ostufer in die Talmitte verlagert. Nach mündlichen Angaben von Bergführer H. Volken, Fiesch, hat eine auffällige Gruppe von 4 grossen Felsblöcken östlich der Zungenmitte die rund 4.5 km lange Strecke von der Wasenkumme bis ans Ende des weissen Eises am Fusse des Stocks in den 25 Jahren 1966-1991

zurückgelegt. Auf diesem südexponierten Gletscher ist die Reisegeschwindigkeit der Blöcke (etwa 180 m/Jahr) zweifellos wesentlich grösser (schätzungsweise 10-20 %) als die Fliessgeschwindigkeit des Eises (VAW - M. Aellen).

## **5 Grosser Aletsch**

**1990:** Die Höhenkote ist im Scheitelpunkt des Gletschertors am Zungenende gemessen. Im untersten Querprofil, rund 300 m hinter dem Zungenende, hat sich die Eisoberfläche im Berichtsjahr um gut 7 m, d.h. etwa doppelt so viel wie im Vorjahr oder im langjährigen Durchschnitt abgesenkt (VAW - M. Aellen).

**1991:** Vermessungsflug am 20.8.1991, ausgewertet durch S. Huonder und A. König im Rahmen ihrer Diplomarbeit am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETHZ (VAW - M. Aellen).

## **6 Oberaletsch**

**1990:** Die Höhenkote ist am Ostrand des Gletschertors gemessen. Wegen sehr starker Schuttbedeckung ist der Eisrand am Zungenende nur an wenigen Stellen in tief eingeschnittenen, meist ebenfalls verschütteten Schmelzwasserrinnen sichtbar. (VAW - M. Aellen).

## **7 Kaltwasser**

**1990:** Der Längenschwund bei den Messpunkten 1 bis 3 (um 42.8, 12.5 bzw. 68.1 m) hat die Zungenlappen in den Bachrinsen stark eingekürzt; der isolierte, 8-10 m mächtige Gletscherrest bei Punkt 1 ist weggeschmolzen (M. Borter).

**1991:** Geringer Längenzuwachs hat auf der ganzen Breite des Zungenendes stattgefunden; im Graben zwischen den Punkten 1 und 2 liegt neugebildeter Gletscher (M. Borter).

## **8 Tälliboden**

**1990:** Der Gletscher ist in den letzten Jahren stark eingesunken und weist kaum noch Spalten auf (VAW - W. Schmid).

## **9 Ofental**

**1990:** Der Gletscher - von einem solchen kann fast nicht mehr die Rede sein - ist nur noch als dünnes Eisfeld vorhanden (VAW - W. Schmid).

**1991:** Die äusserst dünne Gletscherzunge endet in der Schutthalde, nachdem sie im heissen Sommer 1991 um 100-200 m kürzer geworden und damit aus dem Talboden verschwunden ist. Der Zungenrand unter Neuschnee war nicht erfassbar (VAW - W. Schmid).

## **11 Allalin**

**1990:** Vermessungsflug am 23.8.1990 im Auftrag der Kraftwerke Mattmark, ausgewertet am Autographen der VAW. Das Zungenende ist soweit zurückgeschmolzen, dass nun alle Wasserfassungen vom Eis wieder freigegeben sind (VAW - W. Schmid).

### 13 Fee

**1990:** Aus den Luftbildern vom 22.8.1990 ist ersichtlich, dass das Zungenende in den beiden letzten Jahren je etwa gleichviel vom Stirnwall der frischen Vorstossmoräne zurückgeschmolzen ist und neuerdings in der Mitte jeder Hälfte ein kreisrund eingebuchtetes Gletschertor aufweist (VAW - M. Aellen).

**1991:** Der Vergleich der Luftbilder vom 10.9.1991 mit denen des Vorjahrs zeigt den Längenschwund am Zungenende ebenso deutlich wie das erneute Abflachen der Stirnwölbung (VAW - M. Aellen).

### 14 Gorner

**1990:** Die Angabe für das Berichtsjahr verdanken wir Y. Biner, Zermatt. Seine Photoaufnahmen lassen erkennen, dass das Zungenende auch in der Dicke abgenommen hat (VAW - M. Aellen).

**1991:** Das Zungenende hat sich in der Länge nur wenig, im Aussehen dagegen stark verändert (Y. Biner).

### 15 Zmutt

**1990:** Après environ 50 ans de recul et 5 ans d'indécision, le front s'est remis à avancer presque régulièrement (P. Mercier).

**1991:** L'avance (faible, mais correspondante à l'ensemble du front) est accompagnée d'un bombement de la pente terminale, la moraine de couverture devenant instable sur la pente raide qui domine le front (P. Mercier).

### 16 Findelen

**1990:** Vermessungsflug am 22.8.1990, ausgewertet durch H. Bösch am Autographen der VAW. Die Gletscherzunge ist an den schuttbedeckten Rändern 10 bis 20 m, in der abgeflachten schutfreien Mitte bis 132 m zurückgeschmolzen (VAW - M. Aellen).

**1991:** Vermessungsflug am 4.9.1991, ausgewertet durch W. Nobs am Autographen der VAW. Die Höhenangabe in der Tabelle gilt für den tiefstgelegenen Punkt des Zungenendes, das Gletschertor liegt auf Kote 2490.5 m. Der Längenschwund ist ermittelt bis zum Rand des schutfreien Eises, der sich seit dem Vorjahr im Mittel um 21.7 m bergwärts verlagert und dadurch fast durchwegs von den vorgelagerten Moränenwällen abgetrennt hat (VAW - M. Aellen).

### 18 Lang

**1990:** Die Messung vom Fixpunkt 4 an die Zungenstirn ergab den gleichen Abstand wie im Vorjahr (M. Borter).

### 19 Turtmann

**1991:** Die Punkte 1 und 2 waren infolge der grossen Wasserführung des Turtmannbaches am Messdatum nicht zugänglich und konnten auch beim zweiten Versuch am Morgen des 28.9.1991 nicht vermessen werden (A. Tscherrig).

## **20 Brunegg**

**1990:** Der Vorstoss ist verursacht durch starkes Gleiten der ganzen Zunge im steilen vorderen Teil unterhalb 2620 m Meereshöhe, wo die Gletscherspalten an der Geländekante immer breiter und grösser werden (A. Tscherrig).

## **21 Bella Tola**

**1990:** Nach starkem Schwund im Vorjahr blieb der Zungenrand im Berichtsjahr praktisch unverändert, da er - nachdem seine sehr dünne Randzone abgeschmolzen ist - nun dicker geworden ist und dem Schmelzen länger standhält (A. Tscherrig).

**1991:** Im enorm warmen Sommer 1991 ist der äusserst dünne Gletscherrand stark zurückgeschmolzen, am stärksten (um 21 bzw. 36 m) bei den Punkten 1 und 2 (A. Tscherrig).

## **29 Cheillon**

**1990:** Sur la ligne 2, le glacier a reculé de 442 m. Le nouveau point 2 est situé à une distance de 123 m devant la glace. Sur les 6 autres lignes, le recul est de l'ordre de 1 à 21 m (P. Nendaz).

## **30 En Darrey**

**1990:** Le glacier s'est rapproché de 2 m du repère 3 qui est le seul visible des 6 repères installés (en 1969, 1971 ou 1976) et dont actuellement l'un est effacé par l'eau du torrent, tandis que les autres sont recouverts par le glacier ou les débris morainiques. Selon les observations faites sur place, le glacier peut être considéré comme stationnaire (P. Nendaz).

**1991:** Le glacier a recouvert le point 3 (le seul visible en 1990) de sorte que l'avance du front n'est pas mesurable (M. Cotter).

## **31 Grand Désert**

**1991:** Les mesures sur les points 2 et 3 ne sont plus possibles car le niveau du petit lac devant le portail glaciaire a augmenté. Nous avons donc estimé ces deux points par rapport aux mesures des points-repères A et B. Le portail est quasiment à la verticale du petit lac (F. Vouillamoz).

## **32 Mont Fort (Tortin)**

**1991:** Ce glacier est skié et 2 téléskis y ont été construits. Les mesures sur son front n'ayant plus été prises depuis 1988, nous avons reporté les points de mesure d'environ 260 m. Le report a été effectué depuis le point 4 de l'ancienne ligne de base qui date de 1967 et dont les autres points ne sont plus visibles, car des travaux de terrassement ont été effectués pour l'aménagement des téléskis (F. Vouillamoz).

## **34 Otemma**

**1990:** Les mensurations sont de plus en plus difficiles sur la rive droite de la Dranse, à cause des gros débits du torrent et à cause des chutes de pierres dans la moraine latérale très raide et instable. Le régime de décrue des glaciers au fond de la vallée s'est plutôt accentué. Depuis que j'effectue des

contrôles dans cette région, je ne me souviens pas d'avoir vu la montagne aussi sèche: plus trace de névés là où ils subsistaient d'habitude et glaciers complètement dénudés. Le glacier de l'Aouille ne rejoint plus le glacier d'Otemma. Il en est de même du petit glacier anonyme descendant de l'Aouille Tseuque (J.-L. Blanc).

**1991:** Le recul du glacier s'est atténué par rapport à 1990. Sur la rive droite, les mensurations sont rendues difficiles par la nature du terrain: moraine raide et instable dominant le torrent. Le petit glacier d'Epicoun, autrefois affluent d'Otemma, s'est aminci et retiré très haut sur sa base rocheuse; le talus de glace éboulée sous-jacent, formant un glacier régénéré, a entièrement fondu (J.-L. Blanc).

### 35 Mont Durand

**1990:** Le point 5/87 recouvert de pierres a dû être abandonné (J.-L. Blanc).

**1991:** L'accès à la rive droite du torrent est si dangereux et exposé que nous avons renoncé à remplacer le point 5/87. Vu l'étroitesse du front, un seul point donne une information valable sur le régime du glacier. Les contrôles de 1991 m'ont réservé une surprise de taille: enfin un des glaciers que je contrôle depuis tant d'années est en crue. Il y a lieu toutefois de considérer cet allongement réel de 23 m avec prudence: il est probable qu'il s'agit là d'un phénomène qui ne concerne que la langue. Dans la mesure où l'on peut en juger à distance, les parties hautes m'ont paru plutôt amaigries, en particulier dans les parages du Col de By. S'agit-il de la phase de crue des années 1970-1980 décalée dans le temps? On remarque, dans le tiers inférieur du glacier, un renflement qui pourrait correspondre à cette période. L'îlot rocheux (nunatak) qui crevait la glace quelques centaines de mètres derrière le front a disparu sous celle-ci (J.-L. Blanc).

### 36 Breney

**1990:** Le lac devant le front s'est reconstitué et complique les mensurations sur la ligne du point 12GL (J.-L. Blanc).

**1991:** Le lac situé devant la partie droite du front s'est encore étendu, gênant les mensurations au point 12 GL, qui devra être remplacé dès qu'un emplacement favorable se présentera. Le torrent sortant d'un très beau portail s'est déplacé vers la gauche et coule maintenant au centre de la plaine alluviale devant le front (J.-L. Blanc).

### 37 Giétro

**1990:** Vermessungsflug am 23.8.1990 im Auftrag der Kraftwerke Mauvoisin (FMM), photogrammetrisch ausgewertet durch Firma Leupin, Bern. Der Gletscherrand ist im südlichen Teil der Abbruchwand und auf der grossen Felsterrasse südseits der Schlucht bis 20 m vorgerückt, sonst durchwegs zurückgeschmolzen. Dicke und Fliessgeschwindigkeit des Gletschers haben weiter abgenommen (VAW - M. Aellen).

**1991:** Vermessungsflug am 28.8.1991 für FMM, ausgewertet durch Leupin. Nachdem der Zungenrand durchwegs zurückgeschmolzen ist, Eisdicke und Fliessgeschwindigkeit an allen Messpunkten weiter abgenommen haben, entspricht der aktuelle Stand des Gletschers auch im Zungengebiet weitgehend dem Minimalstand von 1964, kurz vor Beginn der Messungen am Pegelnetz. Somit hat der Unterbruch des langfristigen Gletscherschwunds durch den 1980er-Vorstoss bei diesem Gletscher ziemlich genau ein Vierteljahrhundert gedauert (VAW - M. Aellen).

### 38 Corbassière

**1990:** La langue glaciaire ne cesse d'avancer. Son extrémité est formé de blocs de glace, dont les premiers ont recouvert l'ancien point de repère à la sortie du couloir étroit. Le nouveau point est fixé à une distance de 57.6 m. Les mensurations effectuées à la demande des forces motrices de Mauvoisin (FMM) et dont les résultats sont résumés dans le tableau suivant ont porté sur le supérieur des 2 profils transversaux et sur le point balisé sur le ressaut (situé entre les profils). A la suite d'un été ensoleillé, il fallait s'attendre à une baisse générale de la surface glaciaire. Le mouvement glaciaire s'est ralenti de sorte que pour les vitesses on a observé les valeurs les plus faibles des 28 années de mesure, exception faite de l'année 1977/78 extrêmement froide (Ch. Wuilloud).

**1991:** Le front de la langue glaciaire est toujours très pentu, spécialement sur le côté droit, qui représente une cassure verticale haute d'une vingtaine de mètres sur une longueur d'environ 60 m. Les mensurations effectuées pour FMM ont porté sur les 2 profils transversaux et sur le point balisé sur le ressaut entre ces profils. Les résultats sont résumés dans le tableau suivant. Après une saison d'été plutôt sèche, on s'attendait à une forte baisse du niveau de glace. Celle-ci a été moins faible que l'année précédente, dans le profil supérieur, mais plus forte sur le ressaut qui, à vue d'oeil, semble s'aplanir. Le mouvement glaciaire s'est encore ralenti: les vitesses 1990/91 sont les plus faibles des 24 années observées depuis 1967. Les valeurs 1990/91 du profil inférieur comptent pour une durée de deux ans, vu que les mesures n'ont pas été relevés en 1990 (Ch. Wuilloud).

Profil Profil	Höhe altitude [m s.m.]	Mittlere Dickenänderung Variation moyenne de l'épaisseur			Mittlere Fliessgeschwindigkeit Vitesse moyenne du mouvement		
		1989/90 [m]	1990/91 [m]	1967/91 [m]	1989/90 [m/an]	1990/91 [m/an]	1967/91 [m/an]
Tsessette	2500	—	- 4.9	+ 2	—	28.2	35.6
Ressaut	2640	- 1.5	- 2.9	—	31.2	16.5	—
Panossière	2660	- 1.6	- 1.2	+ 1.5	37.4	31.4	43.3

### 43 Trient

**1990:** Depuis 1989, la surface de la langue s'est abaissée d'environ 10 m. La pente n'est plus que de 30 ‰ (après avoir diminué de 40 à 35 ‰, de 1988 à 1989) dans le profil longitudinal (passant par le point E), sur une distance d'environ 50 m à partir du front (P. Mercier).

### 44 Paneyrosse

**1990:** Des mesures précises ont été effectuées sur 2 points (111, A). Sur les autres lignes, une barre rocheuse s'y oppose. Quelques névés de l'hiver ont persisté (J.-P. Marlétaz).

**1991:** Après la sécheresse excessive, aucun résidu neigeux de l'hiver 1990/91 n'a persisté sur ce glacier (J.-P. Marlétaz).

### 45 Grand Plan Névé

**1990:** Des mesures précises ont été effectuées sur tous les points à l'exception du point 4, où le bord du glacier est recouvert de débris rocheux. Quelques petits névés de l'hiver persistants ainsi que l'avance du front indiquent une stabilité générale de ce glacier (J.-P. Marlétaz).

**1991:** Au cours de l'été très sec, les résidus neigeux de l'hiver 1990/91 ont entièrement disparu (J.-P. Marlétaz).

#### 47 Sex Rouge

**1990:** Malgré les bonnes conditions (beau temps, crevasses pontées, neige dure), deux circonstances ont rendu les mesures aléatoires: une couche de neige datant des 22 au 24 septembre et épaisse de 20 à 30 cm, d'une part; d'importantes chutes de pierres recouvrant le bord du glacier, de l'autre part. J'ai fait des sondages jusqu'à la glace, mais je ne puis garantir de l'exactitude des mesures. Il s'agit donc d'une estimation au plus juste, notamment sur la ligne 3 recouverte d'une couche de pierres et où la glace n'apparaissait qu'à très grande distance, ce qui fausse toute comparaison avec la mesure précédente (J.-P. Besençon).

**1991:** Crevasses peu ouvertes; de nombreuses chutes de pierres recouvrent d'importantes surfaces de la partie observée nord-est du glacier. Au point 1, la glace de peu d'épaisseur (20-30 cm) va probablement se séparer du glacier et disparaître en 1992 si les conditions météorologiques sont les mêmes qu'en 1991. Au point 2, un dernier reste du glacier, très mince, est atteint à 43 m, mais en prenant un azimut de 130 g (au lieu de 146 g). Ce petit reliquat de glace est complètement séparé du glacier. Au point 3, la glace (déjà très mince en 1990) a totalement disparu sur la ligne de mesure (J.-P. Besençon).

#### 48 Prapio

**1990:** Outre l'accès délicat au point de mesure, bonnes conditions (voir ci-devant Sex Rouge) et mêmes remarques concernant l'exactitude des mesures (J.-P. Besençon).

**1991:** Malgré une légère couche de neige, la diminution en épaisseur et en largeur de la partie terminale du glacier est évidente (J.-P. Besençon).

#### 49 Pierredar

**1990:** Die regenerierte schuttbedeckte Zunge ist talseits erneut stark zurückgeschmolzen. Auch in den rückwärtigen Teilen ist der Felsuntergrund am Gletscherrand über grössere Flächen freigelegt worden (VAW - M. Aellen).

**1991:** Der Vergleich der Luftbilder vom 6.9.1991 mit denen des Vorjahrs zeigt einen beträchtlichen Längenschwund der regenerierten schuttbedeckten Zunge (VAW - M. Aellen).

#### 50 Oberaar

**1990:** Vermessungsflug am 20.8.1990, ausgewertet durch das Vermessungsbüro Flotron, Meiringen, im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli (KWO). Im Berichtsjahr ist der Gletscher etwas vorge-stossen, wobei die Fläche um 270 m<sup>2</sup> zugenommen hat. Der Zuwachs ist zurückzuführen auf kurze Dauer und geringe Höhe des Einstauens. Der tiefste Punkt des Zungenendes lag im Herbst während 80 Tagen (15.8.-2.11.1989) um 1-2 m unter dem Seespiegel, danach bis zum Messdatum 1990 stets darüber. Der Zungenrand verläuft ähnlich wie im Vorjahr. Die Abbruchkante ist auf der Höhenlinie 2310 m leicht zurückgewichen (um 3.8 m). Für den vordersten Zungenbereich (unterhalb Profil 14) ist aus der Verschiebung der Höhenlinien (2320-2360) m eine Absenkung der Gletscheroberfläche um 3.8 m und eine entsprechende Volumenverminderung um 140'000 m<sup>3</sup> ermittelt worden (A. Flotron).

**1991:** Vermessungsflug am 22.8.1991 für KWO, ausgewertet durch Flotron. Im Berichtsjahr hat die Zungenfläche um 900 m<sup>2</sup> abgenommen. Der Zungenrand liegt im Durchschnitt auf Höhenkote 2300 m. Er war seit dem September 1990 fünfmal während kurzer Zeit (an insgesamt 64 Tagen) 1-2 m tief eingestaut. Auf der nördlichen Hälfte ist die Zungenfront streckenweise abwechselnd um

wenige Meter vorgestossen oder zurückgewichen. Auf der südlichen Hälfte ist sie recht gleichmässig um etwa 5 m zurückgegangen. Die Volumenbilanz, erstmals aufgrund der Messungen am digitalen Geländemodell berechnet, ergab eine Abnahme um 952'000 m<sup>3</sup> vom Zungenende bis zum Querprofil 15 und um 3'233'000 m<sup>3</sup> im gesamten erfassten Bereich, d.h. vom Zungenende bis zum obersten, im Firngbiet gelegenen Profil 17 (A. Flotron).

## 51 Unteraar

**1990:** Vermessungsflug und Auswertung wie Oberaar. Der Gletscher hat am Zungenende eine Fläche von 2.19 ha freigegeben. Im Vergleich zu früheren Jahren ist der Schwund sehr gross. Dazu hat einesteils der Umstand beigetragen, dass die schuttbedeckten Eissporne beidseits der Zungenmitte sich als Toteismassen abtrennten vom Gletscherkörper, der nordseits auf etwa 150 m und südseits auf etwa 20 m Breite um durchschnittlich 50 m verkürzt worden ist. Andernteils hat sich die blanke Eiswand am trichterförmigen Einschnitt des Gletschertors - offensichtlich unter der Einwirkung des Wassers eine schmale Rinne bildend - stellenweise bis 150 m bergwärts verlagert. An der Südflanke ist der Zungenrand auf etwa 200 m Länge stationär geblieben (A. Flotron).

**1991:** Vermessungsflug und Auswertung wie Oberaar. Der Gletscher hat am Zungenende eine Fläche von 0.86 ha verloren. Der grösste Rückzug ist beim Gletschertor aufgetreten, wo der Eisrand über eine Breite von 300 m im Mittel um 25 m zurückschmolz. Am Nordrand ist über 120 m Breite ein Rückzug um etwa 10 m festzustellen. In den übrigen Teilen haben sich abwechselnd geringfügiges Vorstossen und Zurückschmelzen des Gletscherrands nahezu ausgeglichen. Im Mittelwert der Längenänderung nicht berücksichtigt ist der Schwund um etwa 40 m an der südseitigen Bergflanke (A. Flotron).

## 52 Gauli

**1990:** Da die orange/weisse Marke von 1977 unauffindbar war, ist vom weissen Viereck aus gemessen worden. Die schuttbedeckte Eislinse am Zungenende von 1988 ist verschwunden, die Felsrippe nur noch stellenweise mit wenig Moränenschutt bedeckt (Th. Hänggli / R. Straub).

**1991:** Die Eisdicke hat in den letzten Jahren von ca. 2200 auf ca. 2150 m ü.M. abgenommen. Am Zungenende kommt flaches, mit Seelein und Moränenschutt durchsetztes Gelände zum Vorschein (R. Straub).

## 53 Stein

**1990:** Der Gletscherbach hat sich abermals verlagert und fliesst nun an der Zungenmitte unter dem Wasserspiegel in den Steinsee. Erstmals seit 1969 ist das Zungenende wieder leicht zurückgegangen (R. Straub).

## 55 Trift (Gadmen)

**1990:** Das Zungenende ist im Berichtsjahr nur wenig kürzer, aber sichtlich flacher und dünner geworden (VAW - M. Aellen).

**1991:** Der Vergleich der Luftbilder vom 22.8.1991 mit denen des Vorjahrs lässt das Andauern des Schwunds in der Länge und in der Dicke erkennen (VAW - M. Aellen).

## 56 Rosenlauri

**1990:** Der Zungenrand ist in allen Teilen weiter zurückgegangen, das Gletschertor an der Zungenstirn im Talgrund hat sich ostwärts verlagert und verdoppelt (VAW - M. Aellen).

**1991:** Der Vergleich der Luftbilder vom 6.9.1991 mit denen des Vorjahrs zeigt eine deutliche Verkürzung der Zunge im Talgrund. Abgerundete Spalten- und Abbruchkanten in den Gletscherbrüchen und weitgehend abgeschmolzene Sturzkegel im Vorgelände sind Anzeichen für geringe Rutschungsbewegung und Eissturztätigkeit im westlichen Teil der Gletscherzunge (VAW - M. Aellen).

## 58 Unterer Grindelwald

**1990:** Das Zungenende ist um etliche Meter kürzer und - wie die Vergleichsansicht von H. Boss zeigt - auch etwas dünner geworden. Die Sturzkegel auf der Zunge am Fuss der Schlosslauen sind stark abgeschmolzen, ebenso die Zunge des oberen Eismees, das - wie die Luftbilder zeigen - am Zäsenberg mit dem unteren Eismeer nur noch über eine dünne schuttbedeckte und stellenweise bereits durchlöcherete Eismasse zusammenhängt (VAW - M. Aellen).

**1991:** Der Vergleich der Luftbilder vom 21.8.1991 und der Standardansichten vom 21.9.1991, die H. Boss wie in jedem Herbst seit 1956 im Gelände aufgenommen hat, mit den Vorjahresaufnahmen zeigt, dass der Gletscher bei kaum verändertem Aussehen an der steilen Zungenstirn in der Länge und in der Dicke abgenommen hat (VAW - M. Aellen).

## 59 Eiger

**1990:** Die Zunge ist erneut auf der ganzen Breite ziemlich stark zurückgegangen und flacher geworden. An der Front haben sich mehrere Eisblöcke abgespalten. Das Gletschertor hat sich weiter nordwärts verlagert und befindet sich nun auf Messlinie 5 (Th. Schiesser / R. Zumstein).

**1991:** Das Zungenende ist arkadenartig geformt und in grosse Blöcke zerspalten. Sein heutiger Stand ist vergleichbar mit jenem von 1976. Der starke Rückgang in den letzten Jahren führte zu so langen Messlinien, dass wir vorzogen, zur alten, erst teilweise wieder freigegebenen Messbasis (A - G) zurückzukehren. Anstelle der von Eis und Schutt noch überdeckten Basispunkte F und G ist von den Hilfspunkten x' und 4' aus gemessen worden. Weil sich das Gletschertor nordwärts verlagert hat und nun 4 m neben x' liegt, stiess die Messlinie 5 ins Leere (R. Zumstein).

## 60 Tschingel

**1990:** Der Abstand vom mächtigen Vorstosswall zum Eisrand hat sich vergrößert, wahrscheinlich vor allem infolge stärkeren Abschmelzens (Th. Schiesser / R. Zumstein).

**1991:** Der Gletscherrand ist auf der ganzen Breite zurückgeschmolzen, die Eisdicke hat abgenommen und auf der freigegebenen Fläche hinter dem Vorstosswall 1989 sind örtlich - vor allem auf der linken Seite - kleine Seen entstanden (R. Zumstein).

## 62 Schwarz

**1990:** Die Messlinie vom neuen, auf einem Felsblock angebrachten Punkt e erfasst die linke Seite des Gletschertors an der Nordflanke des Zungenendes (U. Vogt).

**1991:** Auf Messlinie C, am südlichen Rand, ist das schuttüberdeckte Zungenende schwierig zu orten. Ein grosses Loch ( $\varnothing$  20 m), das 50 m hinter dem Gletschertor ausaperte, wird voraussichtlich den unterliegenden Zungenteil abtrennen (H. Habegger).

### **63 Lämmern**

**1990:** Das abgeflachte Zungenende weist kein Gletschertor auf (U. Vogt).

**1991:** Am abbröckelnden Zungenende ist kein deutlich ausgeprägtes Gletschertor zu erkennen (H. Habegger).

### **64 Blümlisalp**

**1990:** Im Bereich der Messlinie A hat sich die Gletscherdicke deutlich vermindert (U. Fuhrer).

**1991:** Bei Punkt A ist ein deutliches Absacken des Gletschers festzustellen (U. Fuhrer).

### **65 Rätzli**

**1990:** Die Messung von Punkt D75 an den östlichen, in einer Abbruchwand mit angelagertem Sturzkegel endenden Zungenlappen ist wegen Eisschlags nicht mehr möglich (Chr. von Grünigen).

**1991:** Weil der Gletscherrand unzugänglich geworden ist, wurde der Abstand vom Messpunkt auf den Seitenlinien geschätzt, auf der mittleren Linie mittels Dreieckverfahren ermittelt. Der Weg zu den Messpunkten folgt dem Bergweg südöstlich des Wildstrubel-Hüttenwegs bis ca 2300 m, dann - durch Steinmännchen markiert - in der Mulde am Fuss der schwarzen, etwa 50 m hohen Felswand südwärts zum Punkt A82, von diesem durch ein Couloir ansteigend zum Punkt C75 und anschliessend nordostwärts zum Punkt D75 (Chr. von Grünigen).

### **66 Tiefen**

**1990:** Mit Ausnahme von Punkt GL79 sind die Messmarken auf Felsblöcken im Gletschervorfeld angebracht. Die Distanz von den Punkten B68 und D69 zum Zungenende ist für genaue Messungen relativ gross. Die Suche nach geeigneten Stellen für neue Fixpunkte hat gezeigt, dass anstehender Fels, auf dem sich gute Messmarken setzen liessen, nicht vorhanden ist (J. Marx).

### **69 Rotfirn**

**1990:** Das Gletschertor hat sich weit (gegen 10 m) nordwestwärts verlagert. Von den Messungen auf den nahezu identischen Linien ab Punkt 82 und Punkt 83 ist nur die erste im Ergebnis berücksichtigt; die zweite wird vorsorglich durchgeführt für den Fall, dass Punkt 82 vom Eis überfahren wird (J. Aschwanden / J. Marx).

### **70 Damma**

**1990:** Der Gletscher ist als einziger der beobachteten Urner Gletscher vorgestossen (um je 1.8 m auf beiden Messlinien). Seitdem die Fixpunkte aus den 1960er Jahren überfahren sind, beziehen sich die Messungen auf Hilfspunkte an Felsblöcken im Vorfeld, die durch neue Fixpunkte versichert werden sollten (J. Aschwanden / J. Marx).

**1991:** Der Gletscher ist als einziger im Kanton Uri (und im Bereich der nördlichen Schweizer Alpen, Red.) vorgestossen. Der Mittelwert (2.6 m) ergibt sich aus einem Zuwachs (um 5.55 m) bei Messpunkt 85C und einem Schwund (um 0.95 m) bei Messpunkt 85A (J. Marx / J. Aschwanden).

## 72 Brunni

**1990:** Seit der letzten, im Jahr 1983 erfolgten Begehung hat sich die Abbruchwand am Gletscherende wenig verändert (nachdem sie von 1980 bis 1983 in den seitlichen Teilen merklich zurückgegangen war, wie Photoaufnahmen zeigen; Red.) und ist im Bereich der Messpunkte weiterhin unzugänglich. Die unterliegende schollenförmige Zunge aus abgestürztem Eis, die sich erheblich verkleinert hat, ist nicht mehr eingemessen worden (J. Marx).

## 73 Hüfi

**1990:** Das Zungenende ist einesteils weiter zurückgeschmolzen, bis 11.5 m auf der Nordwestseite und um 28.5 m am Gletschertor in der Zungenmitte, anderenteils wieder vorgestossen, bis 12 m an der Südostflanke (T. Arnold / J. Marx).

## 74 Griess (Unterschächen)

**1990:** Die Gletscherzunge ist wenig mächtig und stark mit Schutt bedeckt. Durch das Abschmelzen hat sich ihre Form so stark verändert, dass die Messung vom GL 136 aus künftig in anderer Richtung vorzunehmen ist, sofern sich für die benötigten neuen Messpunkte keine geeigneten Stellen finden lassen (B. Arnold / J. Marx).

## 75 Firnalpeli (Ost)

**1990:** Wegen des milden Winters war die Gletscherzunge sehr früh schneefrei. Die Eiszunge bei Punkt 2 ist zusammengebrochen, davor hat sich ein kleiner See gebildet; das Wasser umfließt jetzt sogar den Messpunkt. Auch beiderseits der Messlinie 6 treten Bäche aus dem Eis. Die Gletscherzunge hat sich weiter zurückgebildet (R. Imfeld).

## 76 Griessen (Obwalden)

**1990:** Das Eis auf den Felsbändern vor dem Gletscher ist stark zurückgegangen und auch am Gletscher selber zeigt sich eine deutliche Tendenz zur Abnahme (R. Imfeld).

## 77 Biferten

**1990:** Das Zungenende ist auf der ganzen Breite zurückgegangen, abgesehen von der nicht erfassten, wegen Eisschlags unzugänglichen Strecke oberhalb Wasserfassung 1 und mit Ausnahme der steilen Zunge, die bei Fassung 2 um durchschnittlich 2 m vorgestossen und etwas höher geworden ist. Auf der Visurlinie Fridolinshütte - alte Hütte hat sich die Gletscheroberfläche um etwa 3 m abgesenkt. Der Gletscher ist wie der ganze Talkessel bis in alle Höhen schneelos wie noch nie, die Normalroute auf den Tödi seit einigen Wochen durch zahllose Gletscherspalten versperrt und unbegehbar. Als Ende August eine grössere Felsmasse aus der obersten Gratpartie der hinteren Scheibe gegen den Messpunkt E abstürzte, lag stundenlang eine mächtige Staubwolke über dem Tentiwang. Der Messpunkt liegt in der Richtung der Sturzbahn und wird künftig vorsichtshalber nicht mehr benutzt (W. Wild).

**1991:** Das Zungenende ist auf der vermessenen Breite um rund 4 m zurückgegangen, wobei die wegen Eisschlags unzugängliche Strecke oberhalb Wasserfassung 1 nicht erfasst ist. Der Zungenlappen bei Fassung 2 ist um 2 m vorgestossen und endet auf Kote 1901.2 m. Sein höchster Punkt, die Bruchkante am Übergang vom flachen oberen zum steilen unteren Teil, liegt auf Kote 1991.0 m. Westseits der Fassung ist der Längenzuwachs auf abgebrochenes Eis zurückzuführen. Im ganzen Bereich ist eine starke Verminderung der Gletscherdicke festzustellen, die Séracs (früher bis 10 m hohe Türme) sind verschwunden. Auf der Visurlinie Fridolinshütte - alte Hütte ist die Gletscheroberfläche um 5 m abgesunken auf Kote 2048.0 m, d.h. auf den Stand 1947 (2048.1 m). Falls der Schwund weiter andauert, wird es wohl möglich, in der Nähe der Fassung 1 einen - allenfalls durch den vor einigen Jahren erstellten Stollen von Fassung 2 her erreichbaren - Basispunkt einzurichten, um den derzeit unzugänglichen Bereich des Zungenendes zu vermessen (W. Wild).

## 78 Limmern

**1990:** Der östliche (vorderste, nicht vermessene) Teil des Zungenendes liegt unter einer mächtigen Schuttdecke. Am westlichen Teil ist der Eisrand auf den 4 inneren Messlinien vorgerückt (um 1 bis 5.5 m), auf den beiden äusseren zurückgeschmolzen (um 5 bzw. 5.5 m). Auf dem extrem stark ausgeaperten Gletscher liegt eine Neuschneegrenze in rund 3000 m Höhe, alter Firn tritt oberhalb 2700 m auf und die Winterschneedecke ist fast ganz verschwunden. Besonders starker Eisschwund hat die nördlichen, z.T. als Firn- oder Gletscherfleck abgetrennten Teile betroffen (U. Steinegger).

**1991:** Der Gletscher ist sehr stark ausgeapert, die Gleichgewichtslinie auf Höhen über 3000 m, d.h. über das Firnbecken hinaus angestiegen. Dementsprechend ist (nach Mitteilung der Kraftwerke Linth-Limmern) dem Stausee ausserordentlich viel Schmelzwasser zugeflossen (U. Steinegger).

## 79 Sulz

**1991:** Der Gletscher ist immer noch stark mit Schutt überdeckt. Im Gletschertor, das 8-10 m breit und etwa 4 m hoch ist, liegt abgebrochenes Eis; weitere Abbrüche stehen bevor. Die steil abfallende Zungenstirn ist stark strukturiert und reich gegliedert durch zahlreiche Spalten und leistenförmige Bruchstufen (Th. Rageth).

## 80 Glärnisch

**1990:** Nach dem schneearmen Winter ist im überaus warmen Sommer das Gebirge dermassen ausgeapert, dass sich viele Berggänger kaum an ähnliche Verhältnisse zu erinnern vermögen, wie z.B. am Bächistock, wo das hintere und das vordere Couloir nur noch mit Steigeisen zu überwinden sind. Am Messdatum ist das ganze Gletschervorfeld schneefrei, der See am Nordrand hat sich seit dem Vorjahr stark verkleinert (von 2575 auf 430 m<sup>2</sup> Fläche) und abgesenkt (um 3 m auf Kote 2292.1). Seitdem der Gletscher das Seebecken freigegeben hat, ist kein oberirdischer Abfluss mehr sichtbar. Im Firnbach am Südrand fliesst ungewöhnlich wenig Wasser (kalte Nächte!). An der tiefstgelegenen Stelle des Gletschers befindet sich ein kleines Tor. Das Zungenende ist auf der ganzen Breite zurückgeschmolzen (stellenweise bis 20 m) ausser am südlichen Rand, wo es sich praktisch nicht verlagert hat (W. Wild).

**1991:** Das torlose Gletscherende hat sich wie im Vorjahr auf der ganzen Breite stark verändert. Stellenweise ist es um 15-20 m, am tiefsten Punkt um 5 m zurückversetzt. Auch die Eisdicke hat auf der ganzen Breite des Gletschers stark abgenommen. Das 430 m<sup>2</sup> grosse im Vorjahr vorhandene Seelein ist durch unterirdischen Abfluss trockengelegt; bei Pt. 2291.6 ist eine tiefe Schlucht zu erkennen. Etwas weiter oben hat sich ein etwa 170 m<sup>2</sup> grosses neues Seelein gebildet (Wasserspiegelhöhe 2293.0 m). Am Messdatum war der gesamte Glärnischfirn aper. Der Firnbach am östlichen

(schattenseitigen) Ende führte momentan wenig Wasser, während in den übrigen Teilen des Gletschers gegen Mittag zahlreiche Bäche über das Eis flossen (W. Wild).

#### 81 Pizol

**1990:** Die Messung ab Basislinie B, bei Nebel und Schneetreiben mit stark eingeschränkter Sicht durchgeführt, ist bei den Punkten 4-6 zusätzlich erschwert, weil der Eisrand stark mit Geröll überführt und deshalb schlecht auffindbar ist (A. Hartmann).

**1991:** Die Messung bei regnerischem kaltem Wetter, aber guter Sicht ist wiederum von der Basislinie B aus vorgenommen worden. Wegen der langen Messdistanzen ist zusätzlich mittels Messband und Bussole die Basislinie C eingemessen und für eine Kontrollmessung benutzt worden. Auf den Messlinien 5 und 6 war der Eisrand stark von Geröll überführt und darum schlecht auffindbar. Infolge starker Abschmelzung waren nirgends Firn- oder Toteisreste festzustellen (A. Hartmann).

#### 82 Lavaz

**1990:** Die Luftbilder vom 3.8.1990 zeigen das Zungenende wie die Vergleichsaufnahmen vom 13.9.1985 teilweise noch von Winterschnee überlagert. In den aperen Bereichen liegt die Eisoberfläche derzeit deutlich tiefer, der Eisrand viel weiter hinten als vor 5 Jahren (VAW - M. Aellen).

#### 83 Punteglias

**1990:** Im Vergleich der Luftbilder vom 3.8.1990 mit denen vom 25.8.1989 ist ein Andauern des Schwundes vor allem daraus ersichtlich, dass die schluchtartig in die schuttbedeckte flache Zunge eingekerbten Bachläufe sich als aperes Gerinne gletscherwärts verlängert, als Schmelzwasserrinne tiefer ins Eis eingeschnitten haben (VAW - M. Aellen).

**1991:** Mit einem Längenschwund um 22 m in zwei Jahren und weiteren massiven Mächtigkeitsverlusten hat sich die Auflösung des relativ flach abfliessenden Talgletschers gegenüber den vergangenen Jahrzehnten beschleunigt. Am Messtag war der Schmelzwasserabfluss trotz vorangegangener Abkühlung (Ende September Starkregen mit Schneefall bis in tiefere Lagen) auffallend gross, was die Ferrera geradezu sommerlich aussehen liess (H. Klöti).

#### 84 Lenta

**1990:** Das Gletscherende ist auf allen Messlinien deutlich zurückgegangen (um 18-20 m) und hat sich merklich weiter abgeflacht. Der Gletscher entwässert sich an mehreren Stellen ohne eigentliche Torbildung (B. Parolini).

#### 85 Vorab

**1990:** Das vollständig ausgeaperte Gletscherende liess sich eindeutig orten. Weil die Zunge äusserst spitzwinklig auskeilt, wirkt sich der grosse Massenverlust der letzten Jahre in grossen Rückzugsdistanzen aus, was das Einrichten einer neuen Basislinie nötig macht (R. Danuser).

**1991:** Erstmals seit 30 Jahren war der Gletscher von der Zunge bis zum Vorab-Sattel vollständig aper, kein Flecken Firnschnee mehr vorhanden: ideale Verhältnisse für die Vermessung. Auf der mittleren Messlinie (seit 1957 Punkt K, früher C) ist der Gletscher von 1961 bis 1991 um 459.9 m zurückgegangen, im Durchschnitt sind das 15.3 m pro Jahr (R. Danuser).

## 86 Paradies

**1990:** Der abgetrennte untere Gletscherteil mit Toteischarakter ist talseits im Mittel um 12.9 m, der Eisrand oberhalb der trennenden Felsstufe im Mittel um 12.1 m zurückgeschmolzen. Erneut ist sehr grosser Massenverlust festzustellen, insbesondere auch in der Ablösungszone auf etwa 2600 m Meereshöhe (O. Hugentobler).

**1991:** Sehr grosser Massenverlust. Der obere Gletscherteil hat keinen Einfluss mehr auf die Veränderung des unteren Gletscherteils. Voraussichtlich werden wir 1992 auf die Vermessung des Zungenendes am unteren Teil verzichten müssen (O. Hugentobler).

## 87 Suretta

**1990:** Weil im Laufe des schneearmen Winters keine Lawinen auf das Zungenende niedergegangen sind, ist erneut sehr grosser Massenverlust festzustellen. Bei zahlreichen Felsbrocken auf dem Gletscher hat der Schattenwurf die Abschmelzung so verzögert, dass pilzförmige Gebilde (Gletschertische) entstanden sind (O. Hugentobler).

**1991:** Das Zungenende war mit Lawinenschnee eingedeckt; es handelt sich deshalb beim Längenzuwachs keineswegs um einen echten Vorstoss (O. Hugentobler).

## 88 Porchabella

**1990:** Bei einwandfreien Verhältnissen ergibt die Messung fast durchwegs eine Längenabnahme, um durchschnittlich 8.4 m im östlichen und mittleren Teil der Zunge (Einzelwerte: 4.412.7 m), um halb so viel im westlichen Teil (Mittelwert: 4.0 m; Einzelwerte zwischen 1.8 m Zuwachs und 8.3 m Schwund). Dieser Unterschied ist hauptsächlich auf abschirmende Wirkung mächtiger Schuttdecken im Bereich der Mittel- und Randmoränen zurückzuführen. Dass der Massenschwund auch in diesem Jahr ausserordentlich stark gewesen ist, zeigt sich deutlich im Abflachen des Gletscherrückens (F. Juvalta / Chr. Barandun).

**1991:** Die Messungen, bei einwandfreien Verhältnissen durchgeführt, ergaben eine durchschnittliche Längenabnahme um 9.3 m (um 6.0-19 m auf den einzelnen Messlinien). Mit 9.5 m im westlichen und mittleren Teil (flaches Vorgelände) und 8.8 m im östlichen Teil (Vorgelände mit Gegensteigung) waren praktisch gleiche Rüchzugswerte über die ganze Breite zu verzeichnen. Auch in diesem Jahr ist die Massenabnahme als ausserordentlich gross zu bezeichnen. Kennzeichen hierfür sind vermehrtes Auftreten sichtbarer und grösserer Spalten im oberen Teil des Gletschers wie auch grosse Wasserführung bis Ende September in den an 5 Stellen am Zungenende austretenden Gletscherbächen (Chr. Barandun / F. Juvalta).

## 89 Verstankla

**1990:** Dem extrem schneearmen, durchgehend milden Winter mit bedeutenden Schneefällen erst im Februar und April folgte ein sehr warmer Sommer, so dass der Gletscher Ende August auf rund 4/5 der Fläche (etwa wie im Vorjahr) ausgeapert und der Firnschnee in den Steilhängen noch etwas stärker als im Vorjahr abgeschmolzen war. Am Gletscherende und im Zungenbereich hat die Eisdicke weiter abgenommen. Das Zungenende, vielfältig zerklüftet und zerteilt in Eislapen und schollen, ist nordseits um 3 m vorgerückt, auf den übrigen Messlinien bis 6 m zurückgegangen. Das Tor an der Nordflanke hat sich weiter randwärts verlagert und im Gewölbe ausgeweitet, seine Eisüberdachung ist dünner geworden. An der schuttbedeckten südlichen Zungenflanke ist der Eisrand nicht mehr eindeutig erfassbar (J. Stahel).

**1991:** Nach normalem Winterbeginn mit Kälte und Schnee schmolz die Schneedecke im März bis über die Waldgrenze zurück. Mai und Juni waren kalt, umso wärmer wurde das Wetter im Juli und August. In der Folge aperte das Gletschereis bis in sehr grosse Höhen aus, die Eisdicke nahm vor allem im unteren Gletscherbereich stark ab, die Gletscherzunge ging bei allen Messpunkten zurück, im Schnitt um 6 m. Alle 4 im letzten Jahr eingemessenen Punkte (O, P0', P2', P3') konnten problemlos wieder eingemessen werden. Das Gletschertor hat sich lagemässig gegenüber dem Vorjahr kaum verändert, seine Eisüberdeckung dagegen ist stark abgeschmolzen. Wie intensiv das Eis schmolz, war vor allem an den Gletscherschollen beim Zungenende zu erkennen. Auch im Nährgebiet hat die Wärmeperiode ihre Spuren hinterlassen: noch nie hatte ich an den Bergflanken so wenig Firnschnee gesehen wie in diesem Jahr (J. Stahel).

## 90 Silvretta

**1990:** Die Luftbilder vom 23.8.1990 zeigen die Gletscherfläche noch etwa zur Hälfte mit Winterschnee bedeckt. Im aperi Teil besteht die Oberfläche gut zur Hälfte aus Eis, sonst aus altem Firm. Die Messungen am Pegelnetz, am 19.9.1990 durchgeführt durch M. Funk und W. Schmid (VAW), ergeben für das Nährgebiet einen Flächenanteil von rund 1/5, für die Gleichgewichtslinie eine mittlere Höhe von 2957 m und für den Massenhaushalt einen Schwund um 2'065'000 m<sup>3</sup> Eis oder durchschnittlich 65 cm Eisdicke (VAW - M. Aellen).

**1991:** Vermessungsflug am 30.8.1991, ausgewertet durch W. Nobs am Autographen der VAW. Die Messungen am Pegelnetz der VAW, am 18.9.1991 durch M. Funk und W. Schmid ausgeführt, ergaben für das Nährgebiet einen Flächenanteil von rund 5 %, für die Gleichgewichtslinie eine mittlere Höhe von 3032 m und für die Massenänderung einen durchschnittlichen Eisabtrag von 124 cm. Dieser Wert ist gleich gross wie jener von 1973, der als zweitgrösster Schwundbetrag der Messperiode 1959-1991 nur im Extremjahr 1964 (139 cm Eisabtrag) übertroffen wurde (VAW - M. Aellen).

## 91 Sardona

**1990:** Die unveränderte Situation beim verschwundenen Messpunkt 2 lässt an dieser Stelle wiederum keine Messung zu. Der Gletscherrand ragt wie bei Punkt 1 immer noch hoch auf, scheint aber weniger hoch zu sein als in den letzten Jahren. Auffallende Erscheinungen im Bereich der Punkte 2 und 3 sind am Gletscherrand schollenartig abgelöste Eismassen, im oberliegenden Gletscherteil eine muldenartige, eher stärker als im Vorjahr eingetiefte Einsackung der Oberfläche. Das mitgeführte Gestein, das im Jahr 1936 durch einen Felssturz vom Sardonamassiv auf den Gletscher gelangte, ist jetzt grösstenteils am Rand abgeladen und bildet, soweit es nicht ins Vorgelände abgestürzt ist, einen wesentlichen Teil der mächtigen Vorstossmoräne. Bei Punkt 3, wo der Eisrand in steilem Gelände weit zurückgegangen ist (um 47.4 m), haben wir eine zusätzliche (provisorische) Einmessung von einem markanten, gegebenenfalls als neuer Fixpunkt geeigneten Stein aus vorgenommen. Bei den Punkten 1, 4 und 5 ist mässiger bis geringer Schwund (7.5 bzw. 1.8 und 1.6 m) zu verzeichnen und bei Punkt 6, wo wieder ein Firnfeld angelagert ist, hat sich ein Längenzuwachs (um 40.2 m) ergeben (A. Hartmann).

**1991:** Die Messung bei Strahlungswetter und Sommerwärme hat den Gletscher in voller Schmelzaktivität mit starkem Wasserabfluss und häufigem Abstürzen von Felssturzmaterial am Gletscherrand erfasst. Wegen unveränderter Situation beim verschwundenen Messpunkt 2 ist sie wiederum von den Punkten 1, 3, 4, 5, 6 aus erfolgt. An allen Stellen ergab sich ein Rückzug (um 1.5 bis 24 m am Eisrand bei den Punkten 1 bis 5, um 77.7 m am Firnrand bei Punkt 6). Der Gletscherrand erscheint im Bereich der Punkte 1 und 2 etwas weniger hoch aufragend und die schollenartigen Eisablösungen fallen weniger auf als in den letzten Jahren. Dagegen hat sich die Einsackung im Gletscherinnern vertieft und an ihrem Rand ist auf der linken Talseite erstmals der Felsuntergrund zu erkennen. Das Felssturzmaterial ist vom Gletscher grösstenteils als Randmoräne ausgeschieden

oder ins Vorgelände abgestürzt. Zufälligerweise haben wir nahe am neuen Punkt 3/1990 den alten, 1956 angelegten Messpunkt 3 gefunden, der später durch einen tiefer angesetzten Messpunkt ersetzt worden war. Der neue Messpunkt ist bei Gelegenheit photogrammetrisch zu vermessen. Das vorgelegte Firnfeld bei Punkt 6 ist stark zurückgegangen (A. Hartmann).

## **92 Roseg**

**1990:** Gute Messbedingungen. Eine grosse Eisscholle hat sich abgelöst und als Eisberg im Rosegsee vom Zungenende entfernt. Im Gletschereis ist eine schwarze Schicht sichtbar. Auf beiden Uferhängen liegen schuttbedeckte unbewegte Eismassen (G. Bott).

**1991:** Die grosse Eisscholle im Rosegsee hat sich aufgelöst. Gefährliche Spalten am Zungenende weisen auf starkes Unterschmelzen der Eisfront und erschweren das Messen (G. Bott).

## **93 Tschierva**

**1990:** Hinter dem Gletschertor in der Zungenmitte ist eine grosse Schmelzwasserrinne entstanden (G. Bott).

**1991:** Die Schmelzwasserrinne am Gletschertor hat zusätzlichen Eisabtrag bewirkt, die Mächtigkeit der Gletscherzunge hat weiter abgenommen (G. Bott).

## **94 Morteratsch**

**1990:** Das Gletschertor, das 2 Wasserläufe entlässt, ist eingebrochen (G. Bott).

**1991:** Am Gletschertor ist das Eis eingebrochen, unmittelbar davor haben sich 4 kleine Seen gebildet (G. Bott).

## **95 Calderas**

**1990:** Der Gletscher ist sehr dünn geworden (G. Bott).

**1991:** Neuschnee (30 cm) erschwerte den Zugang zum Gletscher. Drei Wasserrinnen an der Gletscheroberfläche bewirkten grossen Eisabtrag und weisen auf starke Schmelzung hin (G. Bott).

## **96 Tiatscha**

**1990:** Nach leichtem Vorstossen im letzten Jahr ist das Zungenende zum Stillstand gekommen, die Gletscherzunge hat sich weiter abgeflacht (J. Könz).

**1991:** Rückgang und Abflachung ist in allen Teilen des Gletschers festzustellen (J. Könz).

## **97 Sesvenna**

**1990:** Das Gletscherende ist erneut ziemlich gleichmässig (ostseits um 5.3-5.4 m, westseits um 2.7-4.7 m) zurückgeschmolzen, ausser in der Mitte, wo es vorgerückt ist (um 2 m). Im ganzen talseitigen Bereich hat der Gletscher viel an Mächtigkeit verloren (L. Rauch).

**1991:** Infolge der warmen Witterung war der untere Gletscherrand frühzeitig schneefrei. Der mittlere Rückzug um 6.9 m ergibt sich aus Messwerten zwischen 2.4 m (Punkt 1) und 17 m (Punkt 4). Der östliche Teil des Gletschers hat wiederum stark an Mächtigkeit verloren, so dass Messlinie 6 in absehbarer Zeit aufgehoben werden kann (L. Rauch).

#### 98 Lischana

**1990:** In diesem Jahr haben wir die neue Messlinie markiert und 6 Basispunkte festgelegt. Das Gletscherende ist auf der Westseite weiter vorgerückt (bis 7.4 m), in der Mitte dagegen wieder zurückgeschmolzen (bis 12.5 m), so dass - im Gegensatz zum Vorjahr - im Durchschnitt ein leichter Rückgang festzustellen ist. Aufgefallen ist uns die geringe Mächtigkeit des Gletschers wie auch der starke Schwund der Eismassen am bergseitigen Gletscherrand (L. Rauch).

**1991:** Der letztjährige Schnee war bereits im August weggeschmolzen, das Zungenende somit gut sichtbar. Bei auffallend starkem Schwund (um 18 m) im Bereich der Messlinie 3 und minimem Zuwachs (um 0.7 m) bei Punkt 4 ergibt sich ein mittlerer Rückzug um 4.9 m. Wiederum haben wir eine starke Abnahme auch in der Mächtigkeit des Gletschers festgestellt. Der eisfreie Gürtel am oberen Gletscherrand wird immer breiter; die Eismassen in der Flanke gegen den 'Vadret da Rims' hin sind praktisch verschwunden (L. Rauch).

#### 99 Cambrena

**1990:** Der Gletscher ist auf der linken Seite, gegen den Abbruch hin, bei 3 Messpunkten leicht vorgerückt (bis 10 m), bei den übrigen 5 Messpunkten ebensoweit zurückgegangen. Seinen Rand umsäumt eine Stimmoräne, am Abbruch ist eine Schuttschicht aufgetaucht (A. Godenzi).

**1991:** Die Zungenstirn erscheint auf der linken Seite, gegen den Abbruch hin, stärker aufgewölbt als im letzten Jahr und ist wieder durch grosse Radialspalten zerteilt (A. Godenzi).

#### 100 Palü

**1990:** Il ghiacciaio si è ritirato non solo sullo fronte, ma anchè in spessore e sulle parte laterale. Il portale del 1988 è sparito, un nuovo piccolo portale si trova nel mezzo del fronte (G. Berchier).

**1991:** Il ghiacciaio si ritira fortemente sul suo lato Nord (lungo la morena laterale). Il portale secondario non esiste più (G. Berchier).

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

**1990:** Wegen der zunehmenden Schuttüberdeckung ist der Gletscherrand auf der Südostseite nicht mehr erfassbar. Die Zunge ist sehr dünn und flach geworden (A. Godenzi).

**1991:** (Corno di Campo). Am Zungenende ist das extrem dünn gewordene Eis stellenweise nur noch einige Dezimeter mächtig. Die rechte Seite ist nun vollständig mit Sturzblöcken überdeckt, der Gletscherrand praktisch nicht mehr zu erkennen (A. Godenzi).

#### 102 Forno

**1990:** In einer etwa 20 m breiten Zone am Gletscherrand ist der Boden des Vorgeländes sehr locker und enthält z.T. schuttüberdeckte Eisreste (C. Mengelt).

**1991:** Die Messbasis ist 144 m näher am Zungenende neu angelegt worden. Dieses ist auf der Südwestseite ausserhalb des Messbereichs sehr stark zurückgegangen (C. Mengelt).

### **103 Bresciana**

**1990:** Quest'anno abbiamo misurato tutte il fronte che ha una larghezza di 260 m. La lingua si è appiattita notevolmente (C. Valeggia).

**1991:** Anche quest'anno abbiamo misurato tutte il fronte (larghezza 260 m). La lingua si è appiattita notevolmente e dalle misurazioni si costata una regressione media di 12 m (mentre 4 e 34 m ai punti osservati). Con questa diminuzione ora si può percorrere il fronte dal punto di misurazione alla morena verso la Valle Malvaglia (C. Valeggia).

### **104 Basodino**

**1990:** Ad eccezione di l'avanzata minima (da 1 m) nel mezzo, il fronte ben visibile e nitido del ghiacciaio è regredito (di 1-7 m). Anche il suo spessore è diminuito notevolmente (C. Valeggia).

**1991:** Il ritiro della lingua del ghiacciaio è lieve, il suo spessore è diminuito notevolmente e in un futuro si potranno avere delle fratture con una diminuzione della lingua (C. Valeggia).

### **105 Rossboden**

**1990:** Die Stirn der schuttbedeckten Zunge ist bei allen Messpunkten weiter vorgerückt (um 6 m beim mittleren, um 1.2 bzw. 1.7 m bei den anderen beiden). Im übrigen hat sich die Situation nicht verändert (O. Dorsaz / M. Borter).

**1991:** Bei unveränderter Situation am Zungenende ist die Längenänderung wie bisher ermittelt an der Stirn der schuttbedeckten Zunge, die auf der Ostseite (bei Punkt 5) um 1.1 m zurückgegangen, auf den beiden anderen Messlinien (bei Punkt 2 und 4) dagegen um 5.3 bzw. 3 m weiter vorgerückt ist (O. Dorsaz / M. Borter).

### **106 Mittelaletsch**

**1990:** Vermessungsflug am 6.9.1990, photogrammetrisch ausgewertet durch W. Schmid am Autographen der VAW. Die Längenänderung ist gemessen vom aktuellen Gletschertor zum unteren der beiden im Herbst 1986 eingemessenen Tore. Die steile Zungenstirn mit dem damals neu entstandenen oberen Tor ist inzwischen um rund 35 m zurückgeschmolzen, das vorgelagerte flache und vollständig schuttüberdeckte Eisschild mit dem unteren Tor grösstenteils verschwunden. Seit 1970 ist die Gletscherzunge um rund 300 m kürzer geworden (VAW - M. Aellen).

**1991:** Vermessungsflug am 5.9.1991 ausgewertet durch W. Nobs am Autographen der VAW. Die Zunge endet in einer steilen Eiswand, die auf der ganzen Breite (rund 70 m) ziemlich gleichmässig zurückgeschmolzen ist (VAW - M. Aellen).

### **107 Bis**

**1990:** Vermessungsflug am 22.8.1990. Im Vergleich mit den Luftbildern des Vorjahrs ist das Andauern des Schwundes eindeutig erkennbar an der fortgesetzten Verkürzung der seitlichen Zungenlappen und der Höhenabnahme der Abbruchwand am Gletscherende (VAW - M. Aellen).

**1991:** Der Vergleich der Luftbilder vom 28.8.1991 mit denen des Vorjahrs zeigt das Andauern des Schwundes in der neuerlichen Verkürzung der seitlichen Zungenlappen und in der Höhenabnahme der Abbruchwand am Gletscherende, die an der Oberkante deutlich abgerundet ist und am Fuss nur geringe Mengen frischer Eistrümmer aufweist. Die alten Sturzkegel im Vorgelände sind bis auf minimale Reste abgeschmolzen (VAW - M. Aellen).

#### 108 Orny

**1990:** Die Luftbilder zeigen die Zunge sichtlich kürzer und dünner als zur Zeit der Aufnahmen im Vorjahr (VAW - M. Aellen).

#### 109 Alpetli

**1990:** Vorstoss bei Punkt A (U. Fuhrer) - Ist zahlenmässig nicht erfasst, da der Basispunkt seit 1985 vom Eis überfahren und unzugänglich ist (VAW - M. Aellen).

#### 111 Ammertten

**1990:** Die schuttbedeckte Gletscherzunge schmilzt langsam, aber stetig ab. Auf dem höher gelegenen Buckel mit schutfreier Oberfläche hat die Eisdicke seit dem Höchststand um 1981 vor allem in den beiden letzten Jahren sichtlich abgenommen. Extrem starke Niederschläge (bis weit hinauf als Regen), die Mitte Februar den Niederschlagsmangel eines wunderbar sonnigen Winters ziemlich ausglich, winterliche Verhältnisse im April und ein markanter Kälteeinbruch im ersten Junidrittel, sonst meistens zu warmes, im Juli sehr sonniges und trockenes Wetter prägten im wesentlichen den Witterungsablauf 1989/90 im Saanenland, wo am Ende der Schmelzperiode Winterschneereste nur an schattigen Stellen in den höchstgelegenen Mulden zu sehen, Gletscher- und Firnflächen je nach Lage zu 80-100 % dem Zehrgebiet zuzuteilen waren (E. Hodel).

**1991:** Nach spätem Beginn der Schmelzperiode ist - wie die Messung bei sonnigem Wetter über der Hochnebeldecke im winterlich verschneiten Gelände zeigte - im heissen und trockenen Hochsommer über Erwarten viel Eis abgeschmolzen (E. Hodel).

#### 114 Plattalva

**1990:** Am Messdatum ist der Gletscher, der am Rande sehr flach auskeilt, vollständig ausgeapert und bei Föhnwärme fliessen noch beachtliche Schmelzwassermengen ab (U. Steinegger).

**1991:** Der Gletscher ist fast vollständig ausgeapert, die Gleichgewichtslinie liegt über 3000 m Meereshöhe, d.h. oberhalb des Firnbeckens und ausserhalb des Gletschers (U. Steinegger).

#### 115 Scaletta

**1991:** Der Vergleich der Luftbilder vom 20.8.1991 mit denen vom 20.9.1985 zeigt deutlichen Rückgang des Gletscherendes sowie an Zahl und in der Grösse verminderte Firnflecken im Vorgelände. Auffallende Unterschiede sind auch im Stand der Ausaperung zu erkennen: im August 1991 war die Gletscherfläche bereits zu etwa zwei Dritteln bis drei Vierteln ausgeapert, im September 1985 erst zu etwa einem Viertel oder Drittel (VAW - M. Aellen).

## 116 Albigna

**1991:** Der Vergleich der Luftbilder vom 16.8.1991 mit denen vom 11.9.1985 zeigt die Gletscherzunge stark verkürzt und ausgedünnt: mit einer abgerundeten und abgeflachten Stirn anstelle der früheren Kalbungsfront endet sie nun hinter dem Seeufer. Auch bei den vor 6 Jahren kräftig vorstossenden Gletschern Castello und Cantone Nord ist deutlicher Schwund festzustellen, vor allem beim Castello. Dessen Stirnwand ist flacher geworden. Vom vormals mächtigen Sturzkegel ist nur noch ein kleiner, mit Schutt überdeckter Rest übrig geblieben (VAW - M. Aellen).

## 117 Valleggia

**1990:** Il fronte del Ghiacciaio è molto ripido con una coltre di ghiaccio assai consistente. Quest'anno, una sporgenza di roccia è visibile, dovuta alla diminuzione dello spessore (C. Valeggia).

**1991:** Le condizioni meteorologiche avverse del mese di ottobre ci ha costretto solo ad una valutazione fotografica della situazione del ghiacciaio. 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. 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

**1990:** La diminuzione della coltre di ghiaccio, dovuto al fattore climatico degli ultimi anni, ha reso questo ghiacciaio senza un fronte ben nitido che è regredito di 2.6 m. Anche il nevaio avanti ad esso è diminuito sensibilmente sia in espansione come pure in volumetria (C. Valeggia).

**1991:** La diminuzione della coltre di ghiaccio, dovuto al fattore climatico degli ultimi anni, ha reso questo ghiacciaio senza un fronte ben nitido. Il ghiacciaio è ricoperto da detriti e sporgono alcune sporgenze di roccia che abbiamo rilevato per poter misurare il suo spessore in futuro. Anche il nevaio avanti ad esso è diminuito sensibilmente in volumetria (C. Valeggia).

## 119 Cavagnoli

**1990:** Il spessore è diminuito notevolmente, come si può costatare dalle sporgenze rocciose sia sulla lingua come pure nella parte centrale del ghiacciaio; inoltre avanti ad esso si è formato un laghetto (C. Valeggia).

**1991:** Il suo spessore è diminuito notevolmente, come si può costatare dalle 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 è regredito di 16 m (mentre 1 e 66 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 (C. Valeggia).

## 120 Corno

**1990:** Questo ghiacciaio si trova su un pendio ripidissimo, con una lingua di ghiaccio consistente e voluminosa. Le misurazioni di quest'anno rilevano che il suo fronte è regredito di 3.5 m. Avanti ad esso c'è uno strato di ghiaccio ricoperto da detriti; la sua forma corrisponde ai rilievi precedenti (C. Valeggia).

**1991:** Trovandosi questo ghiacciaio su un pendio ripidissimo si nota come la lingua di ghiaccio spinge verso valle, tra i punti d, e, f, per cui abbiamo ugualmente un ritiro medio laterale di 6.5 m. Avanti ad esso c'è uno strato di ghiaccio ricoperto da detriti; la sua forma corrisponde ai rilievi precedenti (C. Valeggia).

**Cr Croslina (Campo Tencia)**

**1990:** La lingua di ghiaccio è tra le rocce e termina con un nevaio-ghiacciaio (in parte ricoperto da detriti) assai consistente. E' un ghiacciaio con un bel fronte, di consistente volumetria; inoltre una sporgenza di rocce raffiora al centro della lingua di ghiaccio. Le prime misurazioni si sono effettuate nel 1989, con il rilievo di quest'anno abbiamo già una regressione di 3.3 m (C. Valeggia).

**1991:** Si trova su un pendio ripido ed è uno dei ghiacciai più esposti a Sud. La lingua di ghiaccio è tra le rocce e termina con un nevaio-ghiacciaio (in parte ricoperto da detriti) assai consistente. E' un ghiacciaio con un bel fronte, di consistente volumetria; inoltre una sporgenza di rocce raffiora al centro della lingua di ghiaccio. Le prime misurazioni si sono effettuate nel 1989, con il rilievo di quest'anno abbiamo già una regressione di 9.3 m rispetto al rilievo 1989 (C. Valeggia).



## 4. BILDTEIL

### 4.1 BILDFOLGE 1989/90

#### Bildlegenden

#### **Bilder 1 - 5: Gletscherschwund im Val de Bagnes.**

Aufnahmen: M. Aellen, VAW.

- 1,2 Giétrogletscher am 16.8.1990. Das Nährgebiet umfasst erstmals seit 1964 praktisch nur noch die Firnhänge am Mont Blanc de Cheillon (1). Ältere Firnschichten umsäumen als graue Bänder den ausgefransten Rand der Winterschneedecke (2). Apere Firn- und Eisbuckel, weit klaffende Bergschründe, Eisrinnen und Steinschlag an ungewohntem Ort mögen manchen Bergsteiger an missliebige Begegnungen mit dem Gletscherschwund erinnern.
- 3-5 Besonders klein war im Herbst 1990 das Firngebiet tiefgelegener, zu einem wesentlichen Teil durch Lawinen ernährter Gletscher wie Crête Sèche und Fenêtre am Mont Gelé (3), Tsessette am Grand Combin (4) und Bocheresse am Bec de l'Alia (5). Bei den kleinen wie bei den grossen Gletschern des Val de Bagnes ist der Schwund seit dem Hochstand um 1850 im Talhintergrund am grössten. Umgekehrt ist der Zuwachs während des 1980er Vorstosses im vorderen Teil des Tales am grössten. Bei Otemma und Breney, wie Crête Sèche und Fenêtre im Regenschatten des Combinmassivs gelegen, ist der Vorstoss ausgeblieben. An der Wetterseite desselben Massivs sind Corbassière, Bocheresse und Giétro kräftig vorgestossen.

#### **Bilder 6 - 16: Tiefbohrungen 1990 und 1991 im Grossen Aletschgletscher.**

Aufnahmen: K. Fabri (6-9, 11-13, 16), M. Aellen, VAW (10) und A. Iken, VAW (14, 15).

- 6 Bohrlöcher bringen Licht in die dunkelste Tiefe der Alpengletscher. An der Bohrstelle (im Schatten) zwischen den beiden Mittelmoränen ist das Eis 900 m dick. Der Aletschgletscher ist am Konkordiaplatz also etwa halb so tief wie breit.
- 7,8 Tiefbohrungen sind aufwendig. Rund 4 1/2 t Material und Brennstoff, mit Armeehelikoptern eingeflogen (7), sind auf dem Bohrplatz ausgelegt (8).
- 9-11 Färbversuche zur Erkundung des Entwässerungsnetzes im Gletscher. Konzentrierte organische Farblösung wird am 19.8.1990 auf dem Konkordiaplatz angerührt (9) und um 19.10 Uhr in ein Strudeloch gekippt (10). Als verdünnte Farbwolke entfloß sie dem 14.5 km entfernten Gletschertor nach 4 bis 14 Stunden und innert 24 Stunden kam der grösste Teil dieses ins Oberflächenentwässerungsnetz eingeleiteten Farbstoffs in der Massa wieder zum Vorschein. Fast gleichzeitig durch den Bohrschlauch am Grund des tiefsten Bohrlochs ausgebrachte Farblösung (11)

war erst nach 8 Stunden, jedoch noch bis gegen das Jahresende in der Massa nachweisbar. Nach 6 Wochen war erst knapp die Hälfte dieses ins Sohlenentwässerungsnetz eingeleiteten Farbstoffs wieder zum Vorschein gekommen.

12-16 Geradlinig gebündelt ausspritzender Wasserstrahl an der Bohrspitze (12), genau lotrechtes Einführen der zerlegbaren 6 m langen Bohrstange beim Ansetzen der Bohrung (13), Nachführen des Schlauchs auf die Winde (14), die (elektronisch gesteuert) die Vortriebsgeschwindigkeit regelt, und Prüfen der Verbindung der 100 m langen Schlauchsegmente auf festen Sitz (15) ergeben die gute, für Messungen geeignete Form des Bohrlochs (16). In verschiedene Tiefen abgesenkte Sonden messen Wasserdruck und Eistemperatur.

## 4. ILLUSTRATIONS PHOTOGRAPHIQUES

### 4.1 PHOTOS 1989/90

#### *Légendes des illustrations*

**Photos 1 - 5: Décrue des glaciers du val de Bagnes.**

Clichés: M. Aellen, VAW.

- 1,2 *Glacier de Giétro, le 16.8.1990. Pour la première fois depuis 1964, le névé ne recouvre presque plus que les pentes raides du Mont Blanc de Cheilon (1). Les anciennes couches visibles sous forme de guirlandes grises entourent le bord festonné du manteau neigeux hivernal (2). Bosses de glace vive ou névés déneigés, rimayes géantes, couloirs glacés et chutes de pierres à des endroits inhabituels rappellent aux alpinistes les mauvaises surprises dues à la fonte excessive de la neige.*
- 3-5 *En automne 1990, les névés attendant aux glaciers situés à basse altitude et souvent alimentés par des avalanches, tels ceux de Crête Sèche et de Fenêtre, au pied du Mont Gelé (3), de Tsessette, au pied du Grand Combin (4) et de Bocheresse, au pied du Bec de l'Alia (5), occupaient des surfaces très réduites. Pour les petits et les grands glaciers du val de Bagnes, la décrue observée depuis leur extension maximale de 1850 est la plus importante en amont de la vallée. En revanche, la crue récente de 1980 est la plus importante en aval. Les glaciers d'Otemma et de Breney, situés comme ceux de Crête Sèche et de Fenêtre à l'abri du massif du Combin, n'ont pas progressé, tandis que ceux de Corbassière, de Bocheresse et de Giétro, se trouvant sur le côté pluvieux du même massif, ont fortement avancé.*

**Photos 6 - 16: Forages profonds dans le grand glacier d'Aletsch en 1990 et en 1991.**

Clichés: K. Fabri (6-9, 11-13, 16), M. Aellen, VAW (10) et A. Iken, VAW (14, 15).

- 6 *Ces forages jettent un trait de lumière dans les tréfonds les plus sombres des glaciers alpins. Au site du forage, qui se trouve dans l'ombre entre les deux moraines médianes, l'épaisseur de la glace atteint 900 m. Au Konkordiaplatz, la profondeur du glacier d'Aletsch est à peu près égale à la moitié de sa largeur.*
- 7,8 *Les forages profonds sont coûteux. Un hélicoptère de l'armée a transporté 4.5 t de matériel (7) à l'emplacement du forage (8).*
- 9-11 *Détermination du réseau d'écoulement sous-glaciaire par coloration de l'eau. Une solution concentrée de colorant organique, préparée le 19.8. 1990 au Konkordiaplatz (9) et versée à 19 h 10 dans un entonnoir creusé par les eaux de fusion (10), est ressortie au portail glaciaire (distant de 14.5 km) 4 heures plus tard, et son apparition a duré 10 heures. En 24 heures, la plupart du colo-*

*rant introduit dans le système drainant la surface du glacier, a réapparu dans la Massa. Un autre colorant, introduit presque simultanément par le tuyau de forage au fond du trou le plus profond (11) a été repéré dans la Massa après 8 heures et son écoulement s'est maintenu jusque vers la fin de l'année. En 6 semaines à peu près, la moitié du colorant déversé dans le réseau de drainage sousglaciaire, est ressortie à l'extrémité inférieure du glacier.*

*12-16 Le jet d'eau jaillissant à haute pression de la tête de la foreuse (12), le montage de la tige de forage composée de 3 pièces de 2 m chacune (13), le déroulement du tuyau de forage avant son entrée dans le treuil (contrôlé électroniquement) qui règle la vitesse de progression (14), et le contrôle des raccords des sections du tuyau, longues de 100 m chacune (15), visent à obtenir un trou de forage adéquat à l'introduction de capteurs (16), permettant de mesurer la pression de l'eau et la température de la glace à différents niveaux.*

## 4.2 BILDFOLGE 1990/91

### Bildlegenden

#### **Bilder 1 - 3: Radarsondierungen auf dem Griesgletscher (Ägina).**

Aufnahmen: M. Funk, VAW.

- 1 Auf Gletschern werden Tiefenlotungen mittels Radar in der Regel im Frühjahr bei winterlichen Verhältnissen vor Beginn der Schneeschmelze durchgeführt (1).
- 2, 3 Die Messauslage mit je einer 20-40 m langen Kabelantenne am Sender (hinten) und am Empfänger wird an jedem Messpunkt neu ausgelegt, mittels elektronischer Distanzmessung geortet (2) und auf Schlitten zum nächsten Messpunkt verschoben (3). Die Sondierungen im Frühjahr 1987 ergaben maximale Eisdicken von 200-220 m.

#### **Bilder 4 und 5: Mont Durandgletscher.**

Aufnahmen: M. Aellen, VAW.

- 4, 5 Die Ansicht am 29.8.1988 vom Mont Rouge (4) zeigt im Vergleich mit der Ansicht am 11.9.1974 von Chanrion (5) die Verbreiterung und Verdickung der Gletscherzunge an der Felsstufe in der Bildmitte als Vorboten des mittlerweile am Zungenende eingetretenen Längenzuwachses.

#### **Bild 6: Zmuttgletscher am 12.8.1991.**

Aufnahme: P. Mercier.

- 6 Die schuttbeladene Zungenstirn rückt seit 1989 auf der ganzen Breite vor, nachdem sie sich seit 1981 immer höher aufgewölbt und abwechselnd zuerst auf der Nord-, dann auf der Südseite vorgeschoben hat.

#### **Bilder 7 - 11: Oberer Grindelwaldgletscher.**

Aufnahmen: H. Boss (7, 10, 11) und M. Aellen, VAW (8, 9).

- 7, 8 Die Zungentatze, die von 1959 bis 1987 in der Schlucht hinter dem Felsnollen um 576 m bis in den Gletschersand vorgerückt und seither um 85 m zurückgeschmolzen ist, endet am 28.9.1991 abgeflacht (7) nahezu gleichenorts wie mit aufgewölbter Stirn (8) am 11.8.1977.
- 9 - 11 Beim Milchbachloch liegt die Eisoberfläche heute (11) geglättet und eingeebnet wieder etwa gleich hoch wie auf der Vergleichsansicht vom 1.7.1971 (10, Bildmitte). Die Séractürme im Eisbruch, die Abbruchwand auf dem Nollen und die unterliegenden Sturzkegel, am 21.6.1986 nahezu beim höchsten Stand erfasst (9), sind allesamt nur noch Erinnerung.

## 4.2 PHOTOS 1990/91

### *Légendes des illustrations*

#### **Photos 1 - 3: Sondages radio-électriques au glacier de Gries (Aegina).**

Clichés: M. Funk, VAW.

- 1 *Sur les glaciers, les sondages radio-électriques sont généralement effectuées avant la fonte des neiges, dans des conditions hivernales (1).*
- 2, 3 *Les points de mesure, où les antennes (longues de 20 à 40 m) de l'émetteur (au fond) et du récepteur sont déployées sur le glacier, sont repérés à l'aide d'un télémètre électronique (2). Le déplacement des appareils est assuré au moyen d'une luge (3). Les sondages de 1987 ont indiqué des épaisseurs maximales comprises entre 200 et 220 m.*

#### **Photos 4 et 5: Glacier du Mont Durand.**

Clichés: M. Aellen, VAW.

- 4, 5 *La vue prise le 29.8.1988 du Mont Rouge (4), comparée à celle prise le 11.9.1974 de Chanrion (5), montre la langue du glacier nettement élargie et épaissie sur le ressaut rocheux (au centre). Entretiens, la crue a atteint le front terminal.*

#### **Photo 6: Glacier de Zmutt, le 12.8.1991.**

Cliché: P. Mercier.

- 6 *Le front du glacier, enseveli sous une couche de débris morainiques, a progressé sur toute sa largeur depuis 1989. Précédemment, depuis 1981, il avait d'abord avancé sur le côté septentrional, puis sur le côté méridional, en épaississant de plus en plus.*

#### **Photos 7 - 11: Glacier supérieur de Grindelwald.**

Clichés: H. Boss (7, 10, 11) et M. Aellen, VAW (20-24).

- 7, 8 *En avançant dans la gorge derrière l'éperon rocheux sur une distance de 576 m, entre 1959 et 1987, le front glaciaire a atteint le fond de la vallée au lieu-dit Gletschersand; il a reculé depuis lors de 85 m. Le 28.9.1991, la langue aplatie (7) se termine à peu près à l'endroit où elle se trouvait le 11.8.1977 avec un front bombé (8).*
- 9 - 11 *Au lieu-dit Milchbachloch, au sommet de la partie visible du glacier, la surface s'est récemment abaissée (11) jusqu'au niveau observé le 1.7.1971 (10, au centre). Les séracs et le front de rupture bordant l'éperon rocheux ainsi que les cônes d'éboulis de glace sous-jacents qui, le 21.6.1986, avaient atteint une hauteur à peu près maximale (9), ne sont plus qu'un souvenir.*



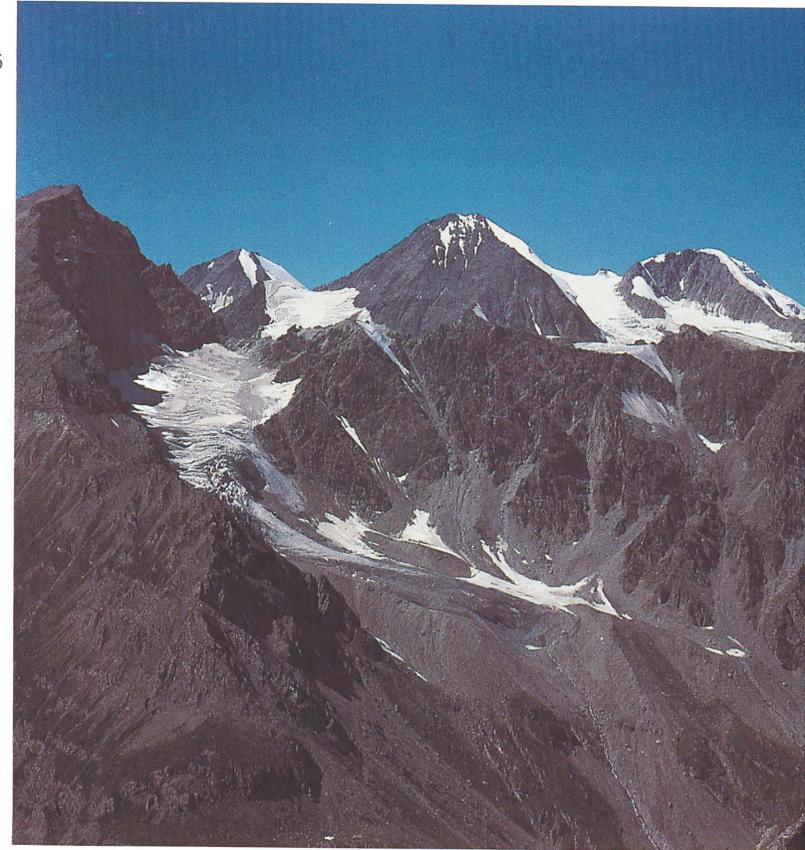
1



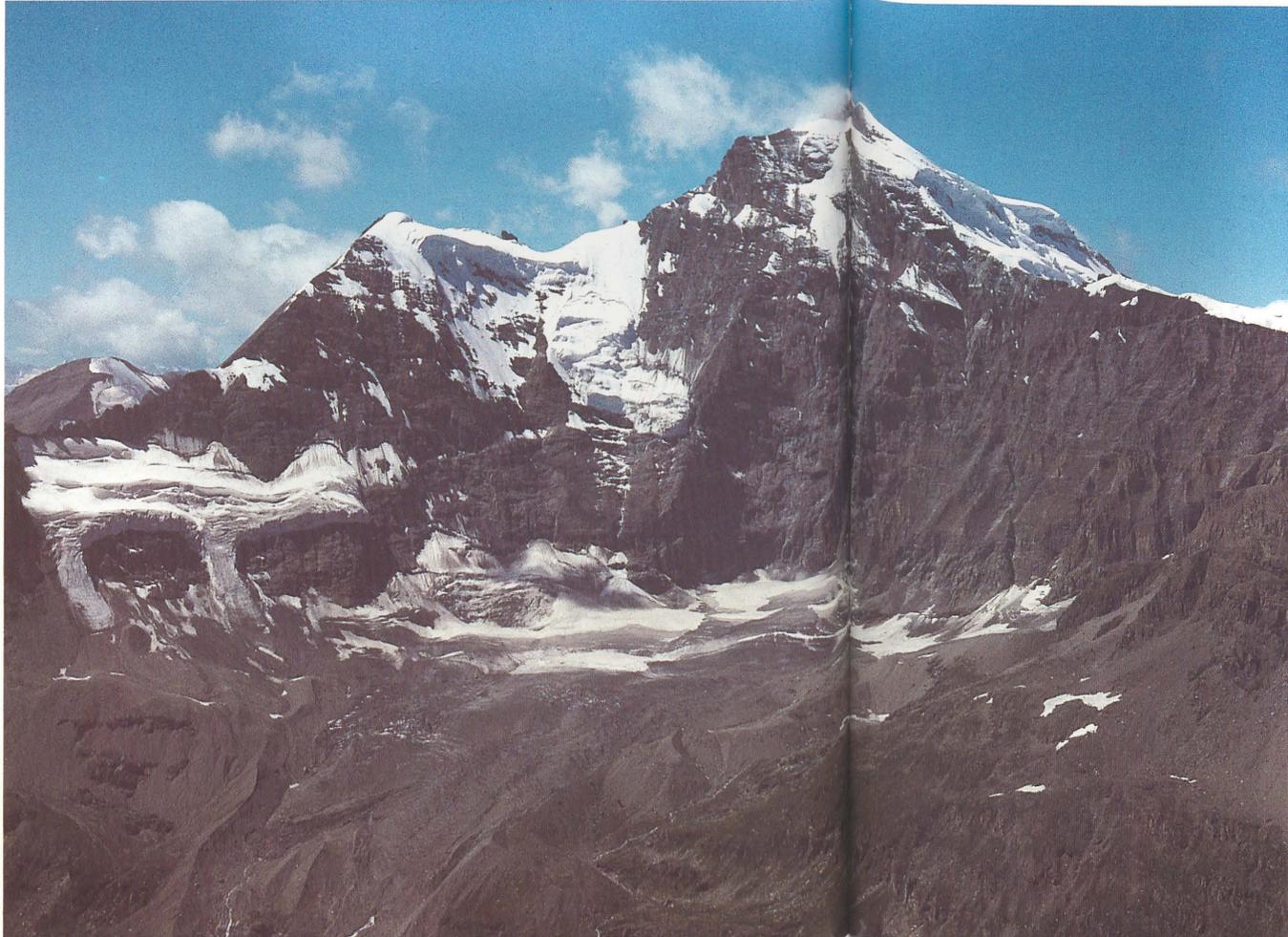
2



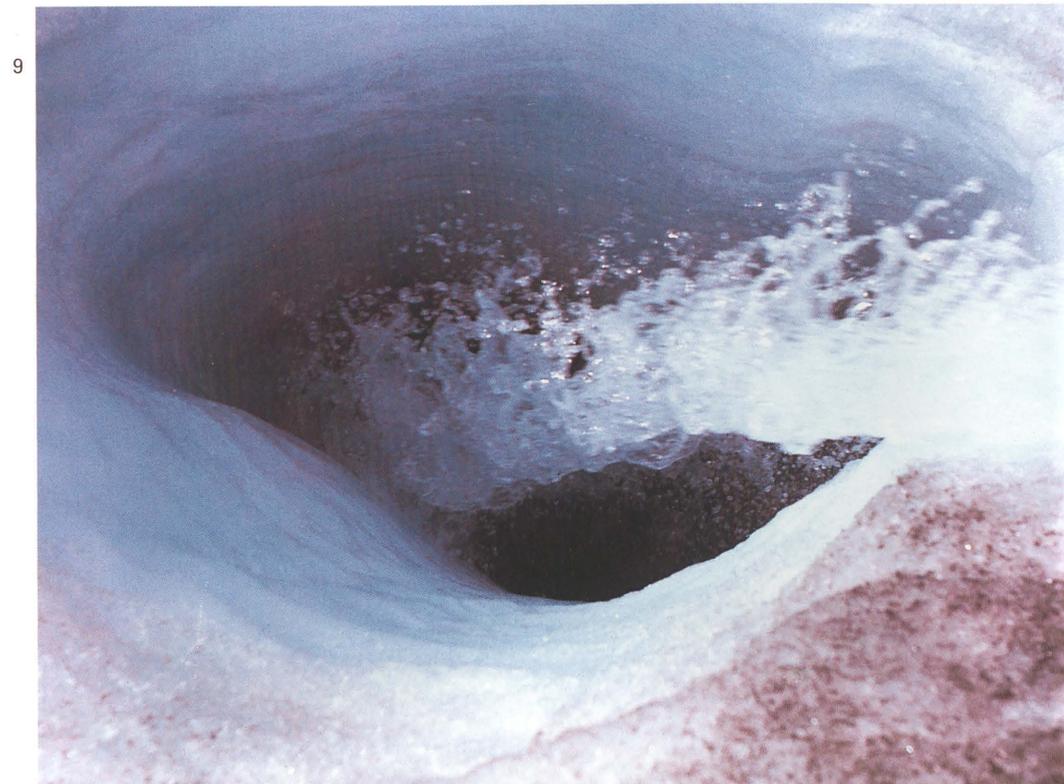
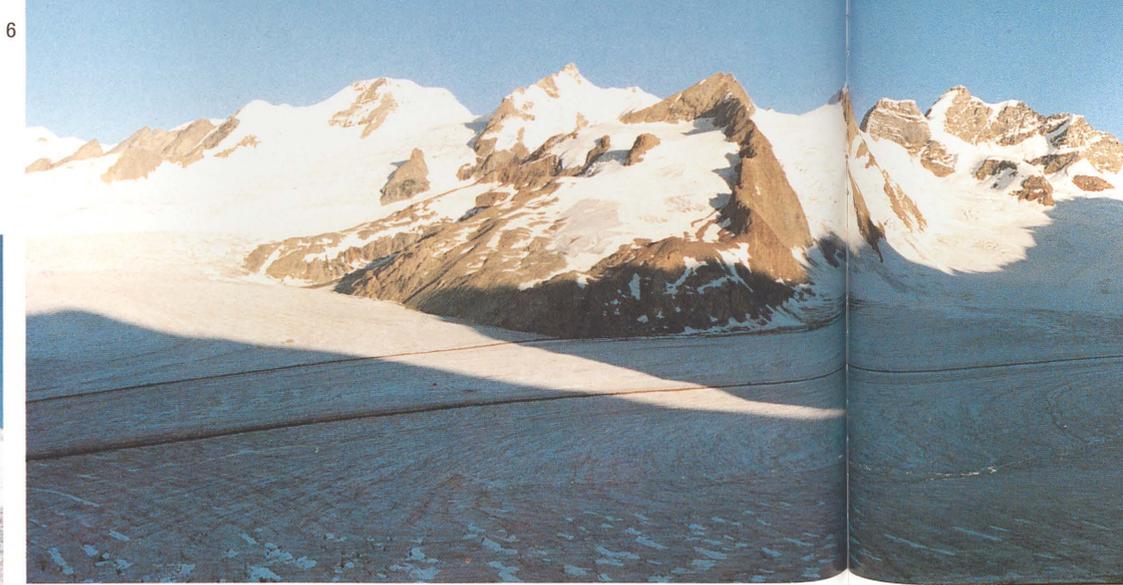
3



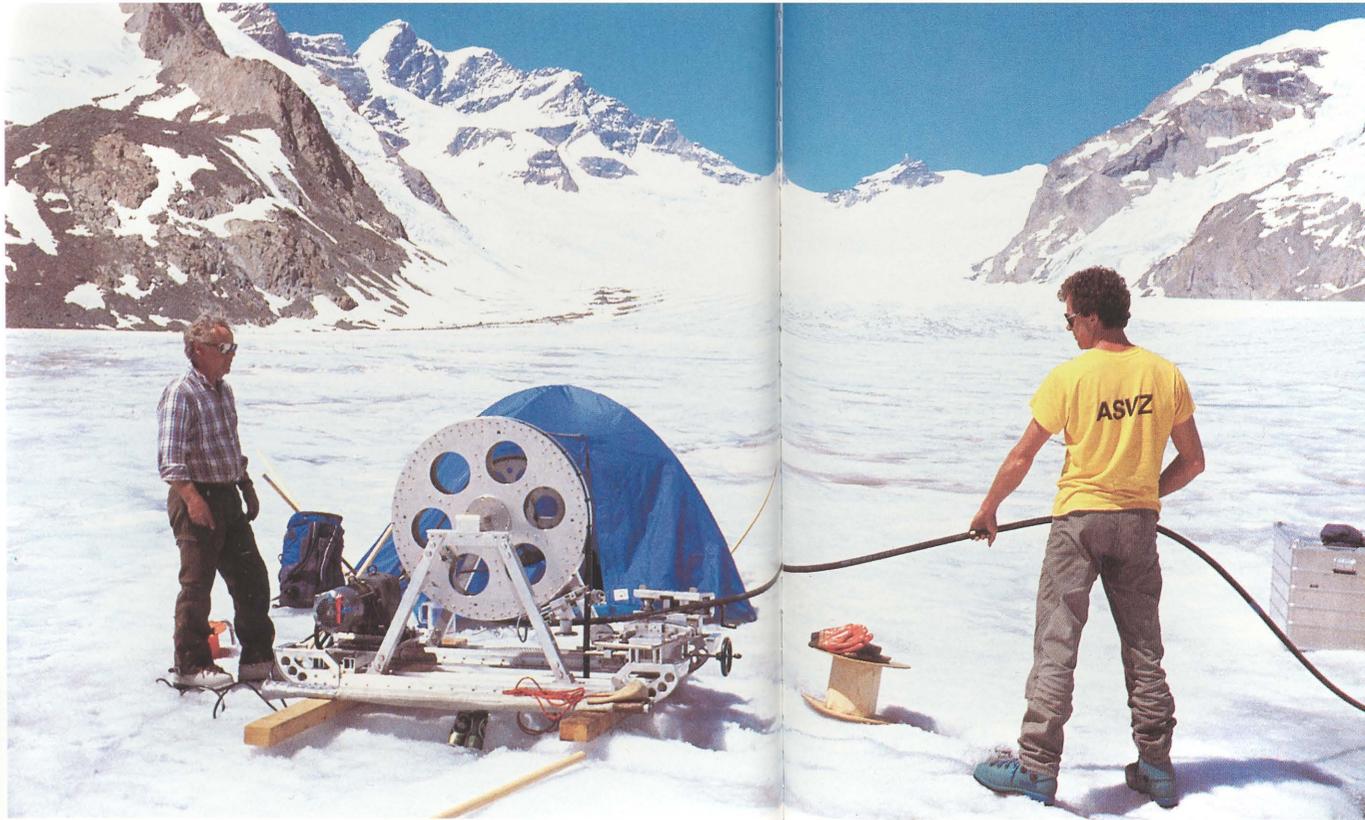
5



4



14

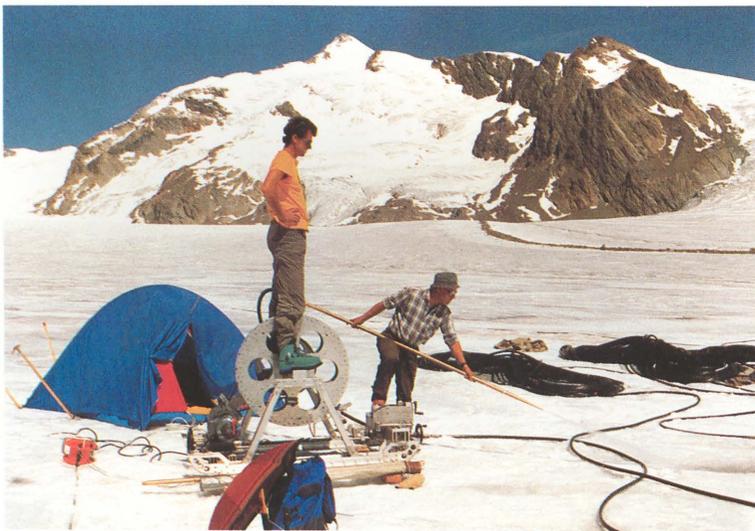


15

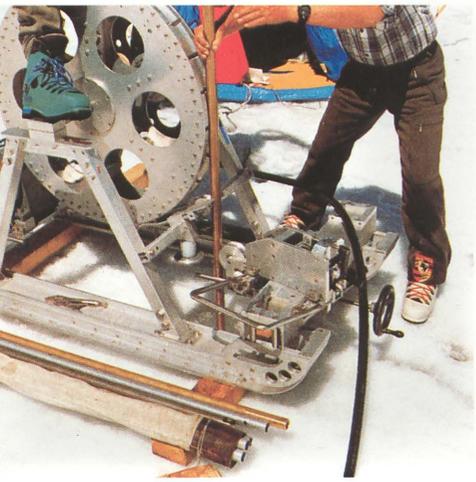


16

12

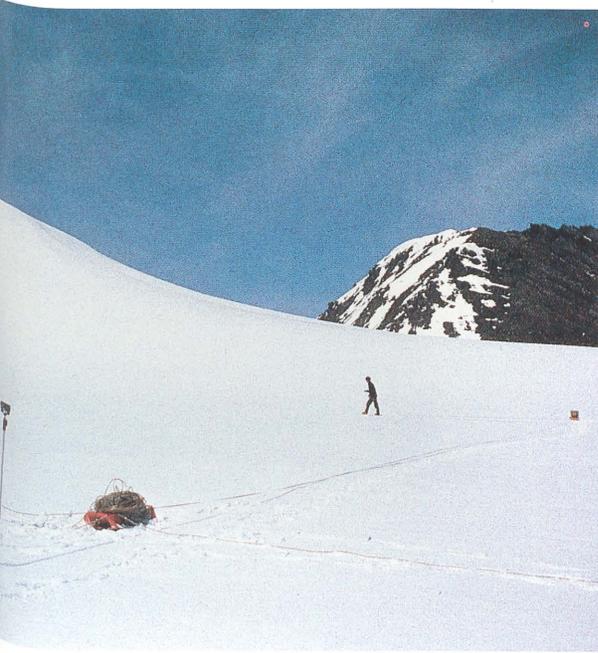


13





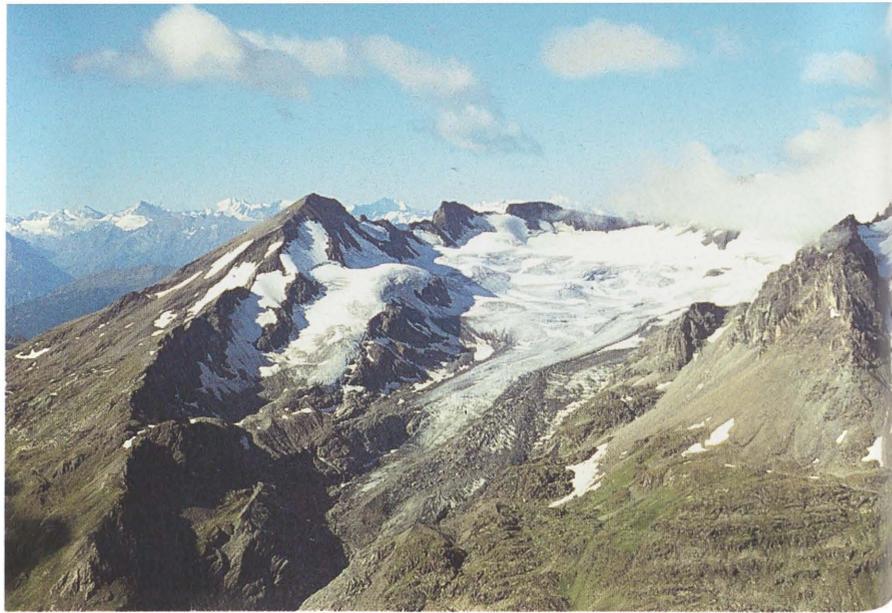
1



2



3



4

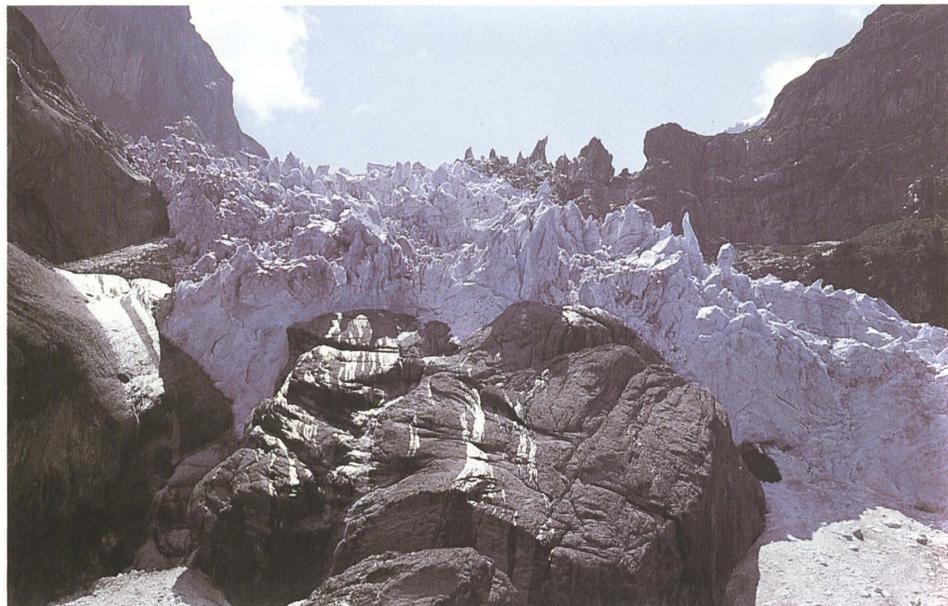


5



6





9



11

## 5. MASSENHAUSHALT

### 5.1 EINLEITUNG

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

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

Tabelle 5.2a des vorangehenden Jahrbuchs enthält fälschlicherweise die Bilanzzahlen der Jahre 1985/86 und 1986/87. Sie sind zu ersetzen durch die im vorliegenden Jahrbuch nachgelieferten Werte.

Abbildung 5.1 gibt einen Einblick in den zeitlichen Verlauf des Wasserhaushalts im Einzugsgebiet der Massa während der Haushaltsjahre 1989/90 und 1990/91. Ausgehend von den publizierten Werten der täglich gemessenen Niederschlags- und Abflussmengen [SMA, 1989-91b; LHG, 1989-91] sind für diese Jahre die Tagesbilanzen berechnet (Abb. 5.1a). Dabei ist die invariant angenommene Verdunstungsrate ( $210 \text{ kg/m}^2$ ) gleichmässig auf die Monate verteilt und innerhalb der Monate in gleichgrossen Tagesraten ( $1 \text{ kg/m}^2$ ) den niederschlagsärmsten Tagen zugewiesen. Aus den Extremwerten der fortlaufenden Summe der täglichen Reservenänderungen, die im Frühjahr (Maximum) und im Herbst (Minimum) erreicht werden, ergibt sich die Gliederung in klimabedingte Haushaltsperioden, die nicht an feste Kalenderdaten gebunden sind. In Abbildung 5.1b sind die Mittelwerte, Standardabweichungen und Extremwerte angezeigt, die aus den Tageswerten der Periode 1931-1987 berechnet sind.

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

Für die Gletscher **Gries** und **Silvretta** ist die höhenmässige Verteilung der Massenänderung in den Haushaltsperioden 1989/90 und 1990/91 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) vom 15. August 1989 - 20./22. August 1991 sind in den Tabellen 5.5 und 5.6 zusammengefasst.

Kapitel 5.5 mit den Tabellen 5.7 bis 5.12 enthält die Ergebnisse der Beobachtungen, die in den Jahren 1989/90 und 1990/91 über den Firnzuwachs auf den Gletschern **Clariden**, **Silvretta**, **Jungfraufirn** und im **Engadin** gemacht worden sind. Diese Beobachtungen sind z.T. seit 1913 im Gang.

## 5.2 MASSENÄNDERUNG 1989/90

In weiten Teilen des Alpengebiets war das Klima des Berichtsjahrs gekennzeichnet durch Trockenheit und Wärme. Für den Massenhaushalt der Gletscher hauptsächlich massgebend waren einerseits Starkniederschläge im Februar, die den extremen Schneemangel im Winterhalbjahr erheblich verminderten, und andererseits dauerhafte Wärme im Juli und August, die überaus starkes Schmelzen bewirkte. Auch in den niederschlagsreichen Gebieten überwog der Abtrag im Sommer den Schneezuwachs im Winter in hohem Masse. Wie im Vorjahr war das Übergewicht des Abtrags im Süden wesentlich grösser als im Norden. Alle Gletscher, deren Massenhaushalt bilanzmässig erfasst wird, haben in der Masse und damit auch im Rauminhalt und in der Dicke stark abgenommen. Die durchschnittliche Dickenabnahme (angegeben als Eishöhe) war beim **Griesgletscher** (207 cm) fast doppelt so gross wie bei **Aletsch**, **Limmern** und **Plattalva** (je etwa 115 cm) und gut dreimal so gross wie beim **Silvretta** (rund 60 cm). Das ist in jedem Fall viel mehr Schwund als im Vorjahr und in allen übrigen Jahren seit 1973, jedoch - mit Ausnahme des Gries - wesentlich weniger als in früheren Extremjahren. Bei Gries ist in den 29 Jahren der seit 1961 laufenden Messreihe ein neuer Höchstwert zu verzeichnen. Schwundbeträge über 200 cm, die sich als Mittelwert aus der gesamten Massenbilanz ergeben, treten bei Gletschern in den Alpen sehr selten auf. In den vergleichbaren Zahlenreihen der Schweiz sind lediglich zwei weitere Fälle zu finden, beide im Jahr 1947, nämlich 276 cm für die **Aletsch-** und 236 cm für den **Rhonegletscher**. Die Messreihe Aletsch ist nach der hydrologischen Methode berechnet für 59 Jahre (1931-1990), die Reihe des Rhonegletschers ist nach der klimatologischen Methode rekonstruiert für 105 Jahre (1882-1987).

Im Fall des **Griesgletschers** lieferte das Berichtsjahr ein Musterbeispiel für die ausgleichende Wirkung der Gletscher im Wasserhaushalt des Hochgebirges in warmen und trockenen Jahren. Das Einzugsgebiet des Griessees (Fläche 10.4 km<sup>2</sup>, vergletschert 6.3 km<sup>2</sup>) empfing im Bilanzjahr 1989/90 nur 54 % der normalen Niederschlagsmenge (10.9 statt 20.3 Millionen m<sup>3</sup>), entliess jedoch 120 % der normalen Abflussmenge (23.7 statt 19.8 Mio. m<sup>3</sup>), wozu die Gletscherschmelze mehr als die Hälfte (12.7 Mio m<sup>3</sup>) beigetragen hat durch Verflüssigen von Schnee-, Firn- und Eisvorräten aus früheren Jahren.

Ebenso hat die Verminderung der Gletschermasse im **Aletschgebiet** einen Überschuss im Abfluss der Massa erzeugt, obwohl auch in diesem Gebiet (erstmal seit 1976) Niederschlagsmangel zu verzeichnen war. Von den 59 Jahren der Bilanzreihe weisen je 13 eine grössere Abfluss- oder kleinere Niederschlagsmenge, aber nur 10 einen stärkeren Schwund der Gletschermasse auf als das Berichtsjahr. Die Tagesbilanzen über den Wasserhaushalt im Einzugsgebiet der Massa, zusammengefasst für klimabedingte Haushaltsperioden, weisen das Berichtsjahr im Vergleich mit dem Mittelwert 1931/87 als Schwundjahr mit verkürzter Zuwachs- und entsprechend verlängerter Schmelzperiode aus. Der Winter (6.10.89-11.5.90) ergab einen Zuwachs um 87 cm Wasserhöhe in 218 Tagen (normal 101 cm in 239 Tagen), der Sommer (12.5.-11.10.90) einen Abtrag um 156 cm in 153 Tagen (normal 115 cm in 126 Tagen) und das Bilanzjahr (6.10.89-11.10.90) per saldo einen Schwund um 69 cm in 371 Tagen (normal 14 cm in 365 Tagen). Daraus ergibt sich ein mittlerer Dickenschwund der Aletschgletscher um 113 cm Eishöhe im Berichtsjahr, rund 5 mal soviel wie im Durchschnitt, aber weniger als halbsoviel wie im Extremfall der Referenzperiode.

Im Zungengebiet der **Aaregletscher** hat das Eisvolumen im Berichtsjahr um 39 Millionen m<sup>3</sup>, die Gletscherdicke dementsprechend um 2.4 m abgenommen. Im Durchschnitt der 20 Jahre von 1969 bis 1989 hat das Volumen um rund 9 Millionen m<sup>3</sup>, die Dicke um 0.5 m pro Jahr abgenommen. Der Höchstwert der Periode (29 Mio m<sup>3</sup> Volumen- bzw. 1.8 m Dickenschwund im Jahr 1971) ist im Berichtsjahr deutlich übertroffen worden.

### 5.3 MASSENÄNDERUNG 1990/91

Im Haushaltsjahr 1990/91 hat sich die Gletschermasse in den Schweizer Alpen erneut sehr stark vermindert. Infolge überaus intensiver Schmelzung waren die Gletscher am Sommerende stärker ausgeapert, als es nach dem meistenorts ziemlich schneereichen Winter und nach dem allgemein späten Beginn der Schmelzperiode zu erwarten gewesen war. An den Stellen, wo die Massenänderung als Firnzuwachs oder Eis- bzw. Firnabtrag an eingepöhlten Pegelstangen auf rund einem Dutzend Gletschern direkt ermittelt wird, ergab sich durchwegs fast ebensowenig Zuwachs im Nährgebiet oder ebensoviel Abtrag im Zehrgebiet wie im Vorjahr. Auf manchen Gletschern, z.B. auf **Gries**, **Kessjen**, **Limmern** oder **Plattalva**, wo die Winterschneedecke bis auf unbedeutende Reste abgeschmolzen ist, hat sich das Zehrgebiet über die ganze Gletscherfläche ausgedehnt. In allen Fällen, wo die gesamte Massenänderung des Gletschers als Bilanz über Zuwachs im Nährgebiet und Abtrag im Zehrgebiet (**Gries**, **Limmern**, **Plattalva**, **Silvretta**) oder als Bilanz über Niederschlag, Abfluss und Verdunstung im hydrologischen Einzugsgebiet (**Aletsch**) berechnet wird, haben sich entsprechend grosse Massenverluste ergeben.

Der grösste Massenverlust ist wie im Vorjahr beim **Griesgletscher** zu verzeichnen; dessen Dicke hat im Mittel um 1.6 m abgenommen. In den 30 Haushaltsjahren seit 1961 ist dieser Wert, der einer Volumenverminderung um rund 10 Millionen m<sup>3</sup> entspricht, ein einziges Mal übertroffen worden und zwar im letzten Jahr um rund 30 %. Aufgrund der im Berichtsjahr durchgeführten Radarsondierungen ist für den Griesgletscher ein Gesamtvolumen von rund 530 Millionen m<sup>3</sup> und eine mittlere Eisdicke von 85 m ermittelt worden. Eine Folge von 40 - 50 extremen Schwundjahren wie 1989/90 und 1990/91 wäre also ein kritisches Mass für die Dauer seines Weiterbestehens. Dauert der Schwund jedoch gleichermassen an wie bisher, ist seine mittlere „Lebenserwartung“ begrenzt auf etwa 150 Jahre.

Der **Silvrettagletscher** ist im Berichtsjahr um 1.2 m dünner geworden. Er hat seit 1959 in zwei Jahren noch stärker abgenommen: 1964 um 1.55 m und 1973 um 1.35 m. Das Vorjahr mit einem Dicken-schwund um 0.6 m folgt in dieser Messreihe an zehnter Stelle.

**Limmern** und **Plattalva** gehören zu den Gletschern, die im Sommer 1991 wie auch im Sommer 1990 praktisch vollständig ausgeapert sind. Ihre Massenänderung wird seit 1986 nicht mehr durch Messungen am Pegelnetz bestimmt, sondern soll durch photogrammetrische Auswertung der jährlich aufgenommenen Luftbilder ermittelt werden. Da die Auswertung noch aussteht, fehlen vorläufig genaue Zahlenangaben für das Berichtsjahr. Aufgrund der Erfahrungswerte, die für die Periode 1947-1985 vorliegen, lässt sich jedoch abschätzen, dass beide Gletscher um mindestens 1 m dünner geworden sind wie in den extremen Schwundjahren 1964, 1949, 1950, 1971, 1973 und 1959. In diesen Jahren waren sie jeweils nahezu vollständig ausgeapert, wobei der Anteil des Nährgebiets stets auf weniger als 5 % der Gletscherfläche eingeengt und eine 1.1 - 1.8 m dicke Eisschicht der Gletschermasse verflüssigt worden war.

Für die **Aletschgletscher** ist aus der Jahresbilanz über den Wasserhaushalt im Einzugsgebiet der Massa eine Verminderung der Eisdicke um 0.6 m errechnet worden. Das ist etwa halb so viel wie im Vorjahr, aber mehr als doppelt so viel wie im Durchschnitt der 60 Haushaltsjahre seit 1931, von denen 35 ein negatives Bilanzergebnis aufweisen. Unter diesen Schwundjahren erscheint das Berichtsjahr an 18. Stelle genau in der Mitte und erweist sich damit als normales Schwundjahr; das Vorjahr (an 10. Stelle) ist bei

den starken Schwundjahren eingereiht. In der Zeitspanne 1960-1991, die mit den vorgängig betrachteten Bilanzreihen vergleichbar ist, hat die Gletschermasse im Aletschgebiet in 5 Jahren (1964, 1990, 1976, 1971 und 1973) stärker abgenommen als im Berichtsjahr. Der beträchtliche Unterschied im Bilanzergebnis der beiden letzten Jahre ist zum grössten Teil auf die unterschiedliche Menge des Jahresniederschlags zurückzuführen. Diese war im Berichtsjahr mit 224 cm etwas grösser, im Vorjahr mit 187 cm wesentlich geringer als im Normaljahr mit 217 cm. Der Jahresabfluss war mit 238 cm im Berichts- und 234 cm im Vorjahr in beiden Fällen viel grösser als im Normaljahr mit 211 cm.

Einblick in den jahreszeitlichen Verlauf des Wasserhaushalts im Aletschgebiet geben die Tagesbilanzen, die in gleicher Weise berechnet sind wie die Jahresbilanz. In der Zuwachsperiode vom 12. Oktober 1990 bis 17. Juni 1991 nahmen die gespeicherten Vorräte zu um 121 cm Wasserhöhe. Das sind 34 cm mehr als im Winter 1989/90 und 20 cm mehr als im Durchschnitt der 60 Winter seit 1931. In der Schwundperiode vom 18. Juni bis 25. September 1991 nahmen sie ab um 156 cm, ebensoviel wie im Sommer 1990 und um 41 cm mehr als im Durchschnitt der 60 Sommer. Hier zeigt sich, dass der Unterschied im Ergebnis der Jahresbilanz, das eine Vorratsverminderung um 35 cm im Berichtsjahr, um 68 cm im Vorjahr anzeigt, durch den unterschiedlichen Winterzuwachs bedingt ist. Aus diesen Zahlen geht überdies hervor, dass im Haushaltsjahr 1990/91 intensive Umlagerungen stattgefunden haben, die als Jahressumme der Bilanzgrössen (Niederschlag, Abfluss, Verdunstung) einer Wasserhöhe von 483 cm entsprechen. In der 60-jährigen Messreihe ist dies der neuntgrösste, in der 30-jährigen Messreihe sogar der drittgrösste Jahresumsatz. Im Vorjahr war der Umsatz (442 cm) nahezu gleich gross wie im Normaljahr (448 cm). Besonders zu beachten sind die Extremfälle dieser Reihe. Sie zeigen, wie gleichwertige Bilanzergebnisse unter gegensätzlichen Klimabedingungen zustande kommen können. Der Minimalumsatz (356 cm) im kalt-trockenen Bilanzjahr 1971/72 (mit dem achtkleinsten Niederschlags- und dem drittkleinsten Abflusswert) führte zu einer Verminderung der Vorräte um 19 cm. Der Maximalumsatz (555 cm) im warm-nassen Bilanzjahr 1944/45 (mit dem sechstgrössten Niederschlags- und dem drittgrössten Abflusswert) ergab denselben Schwundbetrag, der zudem wenig abweicht vom Normalwert (15 cm).

Im Zungengebiet der **Aaregletscher** sind insgesamt 28 Millionen m<sup>3</sup> Eis verschwunden, wobei sich die Gletscherdicke im Mittel um 1.4 m verminderte. Diese Schwundwerte sind seit 1969 nur zweimal, im Vorjahr und 1971 (vgl. Kap. 5.2), übertroffen worden.

Der Massenhaushalt der Gletscher in den Schweizer Alpen war im Berichtsjahr allgemein durch starken, gebietsweise - vor allem in den südlichen Regionen - sehr starken Schwund gekennzeichnet. Nur in den wenigen und ziemlich eng begrenzten niederschlagsreichen Gebieten blieb der Schwund im normalen Rahmen. Das auffälligste Merkmal des Haushaltsjahrs ist wohl die sehr intensive Schmelzung infolge der dauerhaft grossen Wärme im Hochsommer, deren Wirkung wesentlich verstärkt war durch den im März im ganzen Alpengebiet abgelagerten, im Laufe des Sommers als Schmutzschicht an der Gletscheroberfläche angereicherten Saharastaub. Mass- und Vergleichszahlen für die Intensität des Schmelzens liefern die hydrologischen Tagesbilanzen des Massengebiets, beispielsweise mit dem Tagesmittel des Abtrags an den Aletschgletschern während der Schwundperiode. Im Sommer 1991 sind pro Tag 2.5 cm Eis abgetragen worden. Im Sommer 1990 waren es 1.5 cm, wenig mehr als im Mittel (1.4 cm) der 60 Jahre seit 1931. Der Höchstwert (2.8 cm) kam nach einem extrem schneearmen Winter im extrem warmen Sommer 1947 zustande. Auch damals hatte eine im Frühjahr abgelagerte Saharastaubschicht die Wirksamkeit der vom 10. Mai bis 22. September fast dauernd herrschenden, zeitweise extrem grossen Wärme erhöht.

## 5. BILANS DE MASSE

### 5.1 INTRODUCTION

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

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

*L'évolution du régime hydrologique au cours des années de bilan 1989/90 et 1990/91 est représentée par les graphiques de la figure 5.1, qui révèlent les fluctuations des réserves en eau dans le bassin versant de la Massa. Les valeurs journalières publiées des débits [LHG, 1989-1991] et des précipitations [SMA, 1989-1991b] ont permis d'établir des bilans quotidiens (fig. 5.1a), qui sont représentés par les sommes cumulatives (fig. 5.1b). Dans ces bilans, l'évaporation est admise invariable de l'ordre de 210 kg/m<sup>2</sup> par an, soit de 17 ou 18 kg/m<sup>2</sup> par mois. Ces mensualités ont été réparties en quote-parts égales de 1 kg/m<sup>2</sup> sur les jours sans précipitations ou de pluviosité faible. En cumulant les variations journalières des réserves en eau, on obtient les valeurs extrêmes maximales (au printemps) et minimales (en automne) qui marquent le début ou la fin des périodes de bilan, indépendantes des dates fixes du calendrier et définies selon le cycle annuel des conditions climatiques. A titre de comparaison, on a indiqué dans la figure 5.1b les valeurs moyennes, les écarts standardisés et les valeurs extrêmes, qui ont été déterminées à partir des données journalières de la période 1931-1987.*

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

*Pour les glaciers de Gries et Silvretta, on a établi les bilans de masse total et spécifique en fonction de l'altitude. Les résultats obtenus pour les années 1989/90 et 1990/91 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 pour la période du 15 août 1989 au 20/22 août 1991.*

*Les observations sur l'accumulation nivale aux glaciers de Clariden, de Silvretta, du Jungfraufirn et dans l'Engadine (commencées en 1913), sont résumées dans le chapitre 5.5 (tabl. 5.7-5.12).*

## 5.2 BILAN DE MASSE 1989/90

Pour de vastes régions du massif alpin, le climat de ce dernier exercice s'est distingué par sa chaleur et sa sécheresse. Quant au bilan de masse des glaciers, deux faits l'ont déterminé: d'une part, les abondantes précipitations de février, qui ont notablement compensé le manque extrême de neige du semestre d'hiver, et, d'autre part, la période prolongée de chaleur en juillet et en août, responsable d'une fusion très active. Même dans les régions pluvieuses des Alpes, l'ablation estivale a nettement dépassé l'accroissement nivale. Comme pour l'année précédente, ce déséquilibre s'est révélé plus important au sud qu'au nord des Alpes. Tous les glaciers dont on calcule le bilan ont vu leur masse se réduire fortement, et par conséquent leur étendue et leur épaisseur également. Au glacier de Gries, la diminution moyenne d'épaisseur de la glace (207 cm) atteint presque le double de celle des glaciers d'Aletsch, de Limmern et de Plattalva (115 cm environ), et plus du triple de celle du glacier de la Silvretta (60 cm). Tous ces glaciers ont ainsi subi une ablation supérieure à celle mesurée chaque année depuis 1973, mais inférieure, à l'exception de celui de Gries, aux valeurs maximales enregistrées auparavant. Quant à ce dernier, il s'agit, cette année, de la fusion maximum jamais mesurée en 29 ans, c'est-à-dire depuis le début des observations en 1961. Des pertes supérieures à 200 cm apparaissent très rarement pour les glaciers alpins; en ce qui concerne les séries de mesures relevées sur territoire suisse, on peut citer deux cas qui remontent les deux à 1947, soit 276 cm pour le glacier d'Aletsch (59 ans de mesures de 1931 à 1990) et 236 cm pour celui du Rhône (105 ans de mesures, partiellement reconstituées, de 1882 à 1987).

En l'occurrence, le cas du glacier de Gries est un exemple idéal de l'action égalisatrice des glaciers sur le bilan hydrologique des régions de haute montagne pendant les années chaudes et sèches. Le bassin versant du lac de Gries (10.4 km<sup>2</sup> de surface, dont 6.3 km<sup>2</sup> englacés) n'a reçu que 54 % des précipitations normales pendant l'année hydrologique 1989/90 (10.9 au lieu de 20.3 millions de m<sup>3</sup>), produisant cependant un volume d'eau d'écoulement équivalent à 120 % de la quantité normale (23.7 au lieu de 19.8 millions de m<sup>3</sup>). La fusion de la glace a contribué à ce résultat pour plus de la moitié (12.7 millions de m<sup>3</sup>) en entamant les réserves de neige, de névé et de glace accumulées au cours des années précédentes.

Il en est de même dans la région d'Aletsch. La réduction de la masse de ce glacier a doté la Massa d'un débit excédentaire, bien que nous ayons noté un déficit pluviométrique sur cette région pour la première fois depuis 1976. Sur les 59 années de calcul de bilan pour ce bassin, 13 présentent un débit plus important ou une pluviosité moindre, mais 10 années seulement se signalent par une diminution de la masse glaciaire plus importante que celle de cet exercice. Les calculs du bilan hydrologique journalier du bassin versant de la Massa, établis pour des périodes déterminées selon des critères climatologiques, montrent cette année, par comparaison avec les valeurs moyennes issues de la période 1931-1987, un exercice déficitaire, caractérisé par une courte phase d'accumulation hivernale, suivie d'une période prolongée d'ablation estivale. L'hiver (6.10.1989-11.5.1990) a fourni en 218 jours un gain de 87 cm de réserves en eau (moyenne: 101 cm en 239 jours), l'été (12.5.-11.10.1990) une perte de 156 cm en 153 jours (moyenne: 115 cm en 126 jours). Le bilan annuel (6.10.1989-11.10.1990) se solde donc par une perte de 69 cm sur 371 jours (moyenne: 14 cm sur 365 jours). Il en résulte un abaissement général de la surface des glaciers d'Aletsch de 113 cm, ce qui correspond, à peu près, au quintuple de la moyenne, mais à moins de la moitié de la valeur annuelle record enregistrée pendant la période de référence.

Durant ce dernier exercice, le volume des glaciers de l'Aar a diminué de 39 millions de  $m^3$ , ce qui équivaut à un abaissement moyen de la surface glaciaire de 2.4 m. Citons, à titre de comparaison, les valeurs moyennes de perte de volume sur 20 ans, entre 1969 et 1989: 9 millions de  $m^3$  et 0.5 m par an. Le maximum absolu de cette période (29 millions de  $m^3$  et 1.8 m pour 1971) a été largement dépassé pendant l'exercice 1989/90.

### 5.3 BILAN DE MASSE 1990/91

Le bilan des glaciers des Alpes suisses pour l'exercice 1990/91 s'est à nouveau soldé par une très forte perte. A la fin de l'été, en raison d'une ablation extrêmement intense, les glaciers s'étaient libérés de leur carapace de neige dans des proportions nettement plus importantes que celles auxquelles on aurait pu s'attendre après un hiver assez neigeux sur presque tout le massif alpin et un début tardif de la période de fusion. Sur la douzaine de glaciers où les variations positives et négatives de la masse du névé ou de la glace sont directement mesurées au moyen de jalons, on a constaté que, tant les réserves constituées dans la zone d'alimentation que les pertes subies par la zone de fusion étaient presque identiques à celles de l'année précédente. A l'exception de quelques maigres vestiges, le manteau neigeux hivernal a disparu complètement sur de nombreux glaciers, par exemple sur ceux de Gries, de Kessjen, de Limmern ou de Plattalva, et la zone d'ablation s'est ainsi étendue à la totalité de la surface de la masse glaciaire. Les calculs ont également fait apparaître d'importantes réductions dans tous les cas où les variations du bilan total de masse sont déduites de la comparaison entre les gains de la zone d'alimentation et les pertes par ablation (glaciers de Gries, de Limmern, de Plattalva, de la Silvretta), ou entre la pluviosité, l'écoulement et l'évaporation observés sur le bassin hydrologique (glacier d'Aletsch).

De même que l'année précédente, la perte de masse la plus importante nous est signalée par le glacier de Gries, dont l'épaisseur a diminué de 1.6 m en moyenne. Cette valeur, correspondant à une réduction de volume de 10 millions de  $m^3$  environ, n'a été dépassée qu'une seule fois depuis 1961, soit de 30 % en 1989/90. Les sondages au radar effectués au cours du présent exercice ont donné, pour ce même glacier, une estimation de 530 millions de  $m^3$  pour son volume, et de 85 m pour son épaisseur moyenne. Une période de 40 à 50 années de fusion aussi excessive qu'en 1989/90 ou 1990/91 suffirait donc pour réduire sa masse à nulle; mais si la fonte se poursuivra à la mesure habituelle, son "espérance de vie" serait alors limitée à 150 ans environ.

Pendant cet exercice, le glacier de Silvretta s'est aminci de 1.2 m. Depuis 1959, il avait diminué plus fortement à deux reprises, de 1.55 m en 1964 et de 1.73 m en 1973. La réduction d'épaisseur de 60 cm observée en 1990, se situe à la dixième place dans ce classement.

Les glaciers de Limmern et de Plattalva se rangent parmi ceux dont la surface s'est presque totalement débarrassée de son manteau neigeux hivernal au cours des étés de 1990 et de 1991. Depuis 1986, on n'estime plus leurs variations de masse au moyen de mesures effectuées à l'aide d'un réseau de balises, mais par l'interprétation photogrammétrique de prises de vue aériennes faites chaque année. Celles de cet exercice n'étant pas encore disponibles, les données chiffrées exactes nous manquent encore; cependant

*On peut estimer, sur la base des valeurs expérimentales issues de la série 1947-1985, que ces deux glaciers ont vu leur épaisseur moyenne diminuer, cet été, d'un mètre au minimum, comme lors des années suivantes à l'ablation particulièrement active: 1964, 1949, 1950, 1971, 1973 et 1959. En effet, lors de ces exercices, leur surface s'était presque totalement libérée des neiges des hivers précédents, leur zone d'alimentation s'était réduite à moins de 5 % de leur surface totale, et une couche moyenne de glace variant entre 1.1 et 1.8 m avait été prélevée par la fusion.*

*Quant au glacier d'Aletsch, le calcul annuel du bilan hydrologique du bassin versant de la Massa donne une diminution d'épaisseur de la glace de 0.6 m environ. Cette valeur correspond à la moitié de celle de l'exercice précédent, mais à plus du double de la moyenne des 60 bilans établis depuis 1931, dont 35 ont présenté un résultat négatif. Cet exercice se range à la dix-huitième place parmi les années de recul glaciaire, soit près de la valeur médiane; c'est donc une année de décrue normale, alors que 1989/90, qui se situe au dixième rang, a connu une ablation bien plus importante. La série de bilans s'étendant entre 1960 et 1991, comparable à celle dont nous venons de parler, a vu, à cinq reprises (1964, 1990, 1976, 1971 et 1973), la masse des glaciers de la région d'Aletsch diminuer plus fortement que pendant ce dernier exercice. Quant à la notable divergence constatée entre les bilans de ces deux dernières années, il faut l'attribuer aux lames d'eau annuelles très différentes. Celle de cet exercice (224 cm) dépasse de peu la norme (217 cm), tandis que celle du bilan précédent (187 cm) est nettement déficitaire. Les écoulements annuels, 238 cm pour cet exercice et 234 cm pour le précédent, dépassent fortement la norme (211 cm).*

*Les bilans hydrologiques journaliers du bassin d'Aletsch, établis de la même manière que les annuels, fournissent des indications sur les variations saisonnières. C'est ainsi que, pendant la période d'accumulation nivale, du 12 octobre 1990 au 17 juin 1991, les réserves ont augmenté de 112 cm de valeur en eau. Cela correspond à 34 cm de plus que pendant l'hiver 1989/90 et à 20 cm de plus que la moyenne calculée sur 60 saisons hivernales depuis 1931. Elles ont diminué de 156 cm de valeur en eau pendant la période d'ablation du 18 juin au 25 septembre 1991, soit autant qu'en été 1990 et 41 cm de plus que la moyenne établie à partir de 60 étés. On constate donc que la différence entre les résultats des bilans annuels de cet exercice et du précédent (35 cm et 68 cm de diminution des réserves) est due aux accroissements hivernaux dissemblables. Ces chiffres montrent, par ailleurs, que des transferts importants se sont produits pendant l'exercice 1990/91. Ils se mesurent à la somme annuelle des paramètres intervenant dans le bilan: précipitations, écoulement et évaporation, et leur total s'élève à une lame d'eau de 483 cm. Il occupe la neuvième place dans la série de 60 ans des transferts annuels, et même la troisième, dans celle de 30 ans. L'année précédente, cette grandeur s'élevait à 442 cm, valeur très voisine de la moyenne pluriannuelle (448 cm). Si nous portons notre attention aux termes extrêmes de la série, nous constatons que des bilans analogues peuvent résulter de conditions climatiques totalement opposées. Ainsi, un transfert de 356 cm, observé pendant l'exercice 1971/72, année froide et sèche (somme pluviométrique au huitième et valeur d'écoulement au troisième rang derrière le minimum), a conduit à une diminution des réserves de 19 cm. De même, le transfert maximum (555 cm) de l'exercice 1944/45, année chaude et humide (somme pluviométrique au sixième et valeur d'écoulement au troisième rang derrière le maximum), a donné exactement la même valeur de décrue qui, de plus, ne s'écarte guère de la norme (15 cm).*

*Dans la zone d'ablation des glaciers de l'Aar, le volume de glace a diminué de 28 millions de m<sup>3</sup>. Il en résulte un abaissement moyen de la surface glaciaire de 1.4 m. Depuis 1969, on n'a observé des pertes plus importantes que dans les années 1990 et 1971 (cf. chap. 5.2).*

*Le bilan de masse des glaciers des Alpes suisses s'est signalé, durant cet exercice, par une forte décrue générale, plus accentuée sur les régions méridionales qu'ailleurs. Ce n'est que sur quelques petites contrées pluvieuses bien délimitées que le retrait s'est maintenu dans un cadre normal. Le fait le plus marquant de cette année hydrologique est, certes, l'ablation très intense résultant des fortes chaleurs prolongées du gros de l'été; leur action a été avivée par le dépôt, au mois de mars sur l'ensemble du massif alpin, de poussières en provenance du Sahara, formant, au cours de l'été, une couche de crasse à la surface des glaciers. Les bilans hydrologiques journaliers du bassin de réception de la Massa nous livrent des valeurs permettant de mesurer et de comparer l'intensité de l'ablation glaciaire, en particulier celle de chaque jour des glaciers d'Aletsch pendant la période de fusion. Ainsi, une moyenne de 2.5 cm de glace en a disparu quotidiennement au cours de l'été 1991. Pendant la même saison de 1990, ce prélèvement a atteint journalièrement 1.5 cm, soit un peu plus que la moyenne calculée sur 60 ans depuis 1931 (1.4 cm). La valeur maximale (2.8 cm) remonte à l'été tropical de 1947, précédé d'un hiver extraordinairement pauvre en neige. A cette époque aussi, une couche de poussière désertique s'était déposée au printemps et avait augmenté l'action de la chaleur estivale excessive et presque ininterrompue entre le 10 mai et le 22 septembre.*

Tabelle 5.1: Massenänderung 1989/90 und 1990/91

Tableau 5.1: Bilans de masse 1989/90 et 1990/91

Gletscher	Haushaltjahr oder Messperiode		Gletscherfläche <sup>1)</sup> [km <sup>2</sup> ]	Massenänderung gesamt <sup>2)</sup> spezifisch <sup>3)</sup>		Gleichgewichtslinie [m ü.M.]
	vom	bis		B <sub>a</sub> * [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	b <sub>a</sub> [cm]	
Gries	27.9.89	26.9.90	6.31 <sup>1a)</sup>	- 13.17 <sup>4)</sup>	- 188 <sup>4)</sup>	3401 <sup>4)</sup>
	26.9.90	24.9.91	6.31 <sup>1b)</sup>	- 10.35 <sup>4)</sup>	- 148 <sup>4)</sup>	3401 <sup>4)</sup>
Aletsch	1.10.89	30.9.90	127.38 <sup>1c)</sup>	-145.78	- 103	3070 <sup>5)</sup>
	1.10.90	30.9.91	127.35 <sup>1d)</sup>	- 76.41	- 54	2990 <sup>5)</sup>
Limmern	25.8.89	28.9.90	2.52 <sup>1e)</sup>	- 2.94 <sup>6)</sup>	- 105 <sup>6)</sup>	2950 <sup>6)</sup>
	28.9.90	20.8.91	2.52 <sup>1e)</sup>	- 3.78 <sup>6)</sup>	<-135 <sup>6)</sup>	>3000 <sup>6)</sup>
Plattalva	25.8.89	28.9.90	0.86 <sup>1e)</sup>	- 1.19 <sup>6)</sup>	- 125 <sup>6)</sup>	2980 <sup>6)</sup>
	28.9.90	20.8.91	0.86 <sup>1e)</sup>	<- 1.29 <sup>6)</sup>	<-135 <sup>6)</sup>	>3000 <sup>6)</sup>
Silvretta	20.9.89	19.9.90	3.15 <sup>1f)</sup>	- 1.838 <sup>4)</sup>	- 53 <sup>4)</sup>	2870 <sup>4)</sup>
	19.9.90	18.9.91	3.15 <sup>1f)</sup>	- 3.953 <sup>4)</sup>	- 113 <sup>4)</sup>	3030 <sup>4)</sup>
<i>Glacier</i>	<i>Année ou période du bilan</i>		<i>Surface glaciaire<sup>1)</sup></i>	<i>Bilan de masse total<sup>2)</sup> spécifique<sup>3)</sup></i>		<i>Ligne d'équilibre</i>
	<i>du</i>	<i>au</i>	[km <sup>2</sup> ]	B <sub>a</sub> * [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	b <sub>a</sub> [cm]	[m s.m.]

1 Geschätzter Wert am - *Valeur estimée* le: a) 22.8.1990 b) 10.9.1991 c) 8.10.1990 d) 20.8.1991

Gemessener Wert am - *Valeur mesurée* le: e) 15.9.1977 f) 12.9.1973

2 Gesamter Zuwachs oder Abtrag, berechnet als Eisvolumen mit einer mittleren Dichte von 0.9g/cm<sup>3</sup>. Für Aletsch abgeleitet aus der hydrologischen Bilanz des Einzugsgebietes Massa/Blatten bei Naters (Tab. 5.2), für die übrigen Gletscher ermittelt aus glaziologischen Messungen oder aus Luftbildaufnahmen und Erfahrungswerten (Fussnoten 4 und 6).

*Valeurs absolues des gains ou des pertes de masse, exprimées en volume de glace, en admettant une densité moyenne de 0.9 g/cm<sup>3</sup>. Pour Aletsch, elles sont dérivées du bilan hydrologique du bassin versant de la Massa/Blatten près de Naters (tabl. 5.2); pour les autres glaciers, elles sont déterminées à partir de mesures glaciologiques ou à partir de clichés aériens et de données statistiques (remarques 4 et 6).*

3 Gleichmässig über den Gletscher verteilter Zuwachs oder Abtrag. Der Eismenge 1 g/cm<sup>2</sup> entspricht eine Wassersäule von 1 cm Höhe. - *Gain (ou perte) total(e) réparti(e) sur la surface entière du glacier. Une masse de glace de 1 g/cm<sup>2</sup> équivaut à 1 cm en hauteur d'eau.*

4 Mittels statistischer Verfahren aus den Messungen am Pegelnetz ermittelte Werte. - *Valeurs déterminées par calculs statistiques à partir des mesures effectuées sur le réseau de balises.*

5 Aus den Luftbildern vom 6.9.1990 bzw. 5.9.1991 auf dem Jungfraufirn ermittelte Werte. - *Valeurs obtenues par interprétation des clichés aériens pris du Jungfraufirn les 6.9.1990 et 5.9.1991.*

6 Mittels statistischer Verfahren aus dem Anteil des Nährgebiets an der Gletscherfläche und aus der Beziehung zwischen Massenänderung und Höhe der Gleichgewichtslinie ermittelte Werte. Die Abgrenzung des Nährgebiets beruht auf den Luftbildern vom 28.9.1990 bzw. 20.8.1991.

*Valeurs déterminées par calculs statistiques à partir de la proportionnalité des surfaces partielle du névé et totale du glacier et à partir des relations entre le bilan de masse et l'altitude de la ligne d'équilibre. Les limites du névé sont restituées selon les clichés aériens respectifs du 28.9.1990 et du 20.8.1991.*

Tabelle 5.2: Wasserhaushalt vergletschter Einzugsgebiete 1989/90 und 1990/91  
 Tableau 5.2: Bilans hydrologiques 1989/90 et 1990/91 de bassins versants englacés

## Gebietsflächen und -höhen - Surfaces et altitudes des bassins:

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

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

Bilanzperiode <i>Période du bilan</i>	Abfluss <i>Ecoulement</i>	Verdunstung <i>Evaporation</i>	Reserven- änderung <i>Variation des réserves</i>	Niederschlag	
				Gebietsmittel <i>Moyenne</i>	Totalisator <i>Totalisateur</i>
1.10 - 30.9.	[kg/m <sup>2</sup> ] <sup>2)</sup>	[kg/m <sup>2</sup> ] <sup>3)</sup>	[kg/m <sup>2</sup> ] <sup>4)</sup>	[kg/m <sup>2</sup> ] <sup>5)</sup>	[kg/m <sup>2</sup> ] <sup>6)</sup>
1987/88 <sup>7)</sup>	2296	200	- 662	1834	1834
1988/89 <sup>7)</sup>	2152	200	- 626	1726	1434
1989/90	2282	200	-1147	1335	810
1990/91	2497	200	- 904	1793	1727
Mittelwert - <i>Valeur moyenne</i>					
1961-1991	1920	200	- 172		
1964-1991				1943	1672

1 VAW [1991b und 1992a] - VAW [1991b et 1992a].

2 Durch das Kraftwerk für das hydrologische Jahr vom 1. Oktober bis 30. September bestimmte Werte (s. Bemerkungen zu Tab. 16 des 93./94. Berichts, 1971/72 und 1972/73). - *Valeurs déterminées par les forces motrices, valables pour l'année hydrologique du 1<sup>er</sup> octobre au 30 septembre (v. notes explicatives du tabl. 16 des 93<sup>e</sup>/94<sup>e</sup> rapports, 1971/72 et 1972/73).*3 Invarianter Schätzwert - *Valeur estimée (invariable).*4 Aus der Massenänderung des Gletschers abgeleitete Werte (Tab. 5.1 und 5.3) - *Valeurs dérivées du bilan de masse du glacier (tabl. 5.1 et 5.3).*5 Aus Abfluss, Verdunstung und Reservenänderung berechnete Werte - *Valeurs calculées à partir de l'écoulement, de l'évaporation et de la variation des réserves.*6 Im Totalisator Cornopass gesammelte Jahresmenge - *Précipitations annuelles collectées dans le totalisateur du Col de Corno (Koordinaten / Coordonnées: 672.34 / 145.8 km / 2510 m).*7 In Tabelle 5.2a des vorangehenden Jahrbuchs sind die Bilanzzahlen der Jahre 1985/86 und 1986/87 wiedergegeben. - *Les données du bilan présentées dans le tableau 5.2a du précédent volume sont celles des années 1985/86 et 1986/87.*

Tabelle 5.2: Fortsetzung

Tableau 5.2: Continuation

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

Bilanzjahr <i>Année du bilan</i>	Niederschlag <i>Précipitations</i> N <sup>2)</sup>	Verdunstung <i>Evaporation</i> V <sup>3)</sup>	Abfluss <i>Écoulement</i> A <sup>4)</sup>	Reserven- änderung <i>Variation</i> <i>des réserves</i> R <sup>5)</sup>	Gletscher- fläche <i>Surface</i> <i>glaciaire</i> G <sup>6)</sup>	Spezifische Massenänderung <i>Bilan de masse</i> <i>spécifique</i> B <sup>7)</sup>
1.10. - 30.9.	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]
1989/90	1874	210	2337	- 673	127.4	- 1029
1990/91	2240	210	2382	- 352	127.4	- 538
<b>Vergleichswerte 1931-1991 - Données statistiques 1931-1991</b>						
Mittel <i>Moyenne</i>	2171	210	2109	- 148	133.8	- 214
Standardab- weichung <i>Ecart-type</i>	364		325	566	3.0	838
Minimum (Jahr - <i>Année</i> )	1452 (1949)		1593 (1978)	-1698 (1947)	127.4 (1991)	-2487 (1947)
Maximum (Jahr - <i>Année</i> )	2970 (1981)		3297 (1947)	1093 (1978)	136.9 (1932)	1659 (1978)

- 1 Aellen und Funk [1990], Daten ergänzt seit 1987 - *Aellen et Funk [1990], données complétées dès 1987.*
- 2 Schätzwerte, berechnet aufgrund der Niederschlagsmessungen in Grindelwald (1040 m), Fiesch (1060 m; bis 31.5.91), Ernen (1000 m; ab 1.6.91) und Ried/Lötschental (1480 m), [SMA, 1989-91b].  
*Valeurs estimées, calculées à partir des précipitations mesurées à Grindelwald (1040 m), Fiesch (1060 m; jusqu'au 31.5.91), Ernen (1000 m; dès 1.6.91) et Ried/Lötschental (1480 m), [SMA, 1989-91b].*
- 3 Invarianter Schätzwert - *Valeur estimée (invariable).*
- 4 An der Limnigraphenstation Blatten bei Naters registrierte Abflüsse (Abb. 5.1a), [LHG, 1989-91].  
*Débits enregistrés à la station limnigraphique de Blatten près de Naters (fig. 5.1a), [LHG, 1989-91].*
- 5 Schätzwerte, berechnet nach der Formel - *Valeurs estimées, calculées selon la formule: R = N - A - V.*
- 6 Schätzwerte, abgeleitet aus der jährlichen Längenänderung des Grossen Aletschgletschers (Tab. 5.1, Fussnoten 1c und 1d; Tab. 21 des 95./96. Berichts, 1973/74 und 1974/75). - *Valeurs estimées, dérivées de la variation annuelle en longueur du Grand glacier d'Aletsch (tabl. 5.1, notes 1c et 1d; tabl. 21 des 95<sup>e</sup>/96<sup>e</sup> rapports, 1973/74 et 1974/75).*
- 7 Schätzwerte, berechnet nach der Formel - *Valeurs estimées, calculées selon la formule: B = F • R / G (F = 194.7 km<sup>2</sup>).*

Tabelle 5.2: Fortsetzung

Tableau 5.2: Continuation

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

Bilanzjahr <i>Année du bilan</i>	Niederschlag <i>Précipitations</i>	Verdunstung <i>Evaporation</i>	Abfluss <i>Écoulement</i>				Reserven- änderung <i>Variation des réserves</i>
			gemessen <i>mesuré</i>	umgeleitet <i>détourné</i>	gespeichert <i>retenu</i>	berechnet <i>restitué</i>	
1.10. - 30.9.	N 1) [kg/m <sup>2</sup> ]	V 2) [kg/m <sup>2</sup> ]	Ag 3) [kg/m <sup>2</sup> ]	AA-AE 4) [kg/m <sup>2</sup> ]	S 5) [kg/m <sup>2</sup> ]	A 6) [kg/m <sup>2</sup> ]	R 7) [kg/m <sup>2</sup> ]
1989/90	1386	300	1036	20		1056	30
1990/91	1310	300	1081	-3		1078	-68
<i>Mittelwert - Valeur moyenne</i>							
1955-1980	1361	300	1032	2	7	1041	20
1955-1985	1386	300	1062	0	7	1069	17
1955-1990	1389	300	1075	0	6	1081	8

1 [SMA, 1989-91b], nähere Angaben siehe Kasser [1983] - [SMA, 1989-91b], explications voir Kasser [1983].

2 Invarianter Schätzwert (vgl. Kap. 6.23 und 6.25 des zitierten Berichts). - *Valeur estimée, invariable (cf. chap. 6.23 et 6.25 des rapports cités).*

3 Registrierter Abfluss in Porte du Scex [LHG, 1989-91], (vgl. Kap. 6.21 und 6.22 des zitierten Berichts). - *Débits enregistrés à Porte du Scex [LHG, 1989-91], (cf. chap. 6.21 et 6.22 des rapports cités).*

4 Überleitung von Wasser über die Grenzen des Einzugsgebiets:

- Ableitung (A<sub>A</sub>) ins Einzugsgebiet des Tessins (von der Ägina nach Alpe Cruina),

- Zuleitung (A<sub>E</sub>) aus dem Einzugsgebiet der Arve (von Lognan / Le Tour nach Emosson).

*Volumes d'eau dérivés ou amenés à travers les partages naturelles des eaux:*

- *Dérivation (A<sub>A</sub>) dans le bassin du Tessin (de l'Ägina à l'Alpe Cruina),*

- *Adduction (A<sub>E</sub>) du bassin de l'Arve (de Lognan / Le Tour à Emosson).*

5 Änderung der Stauhaltung in den Speicherbecken der Wasserkraftwerke: Rückhalt im Sommer (+), Abgabe im Winter (-). *Variation des volumes d'eau dans les bassins d'accumulation des forces motrices: retenus en été (+), relâchés en hiver (-).*

6 Natürlicher Abfluss in Porte du Scex, rekonstruiert nach der Formel - *Débits naturels à Porte du Scex, restitués selon la formule:*

$$A = A_g + (A_A - A_E) + S.$$

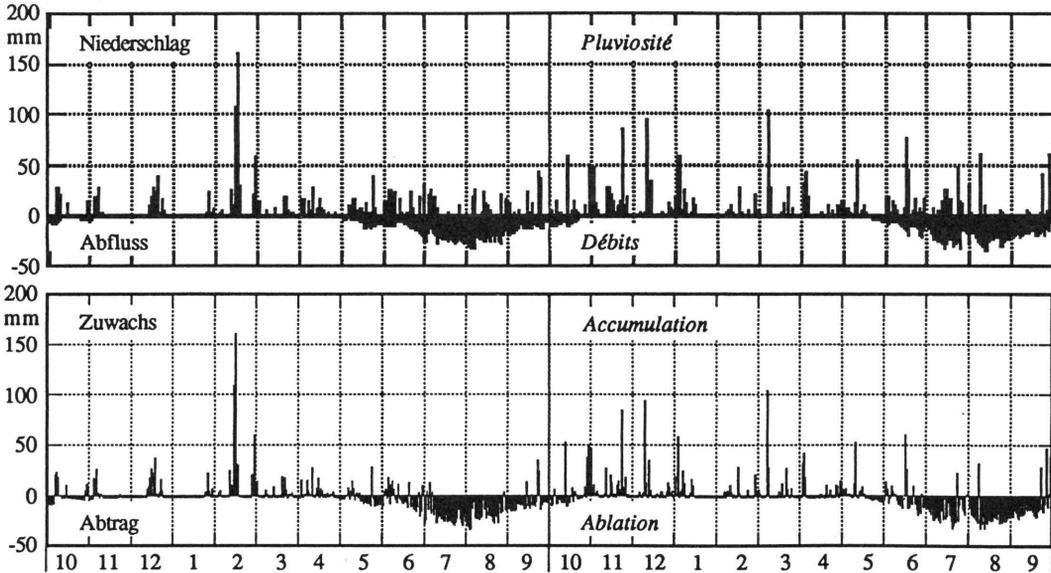
7 Änderung der natürlichen Wasserreserven, berechnet nach der Formel - *Variation des réserves naturelles en eau, restitués selon la formule:*  $R = N - A - V.$

Abbildung 5.1: Einzugsgebiet Massa (Aletschgletscher) - Wasserhaushalt 1989/90 und 1990/91

Figure 5.1: Bassin versant de la Massa (glaciers d'Aletsch) - Bilans hydrologiques 1989/90 et 1990/91

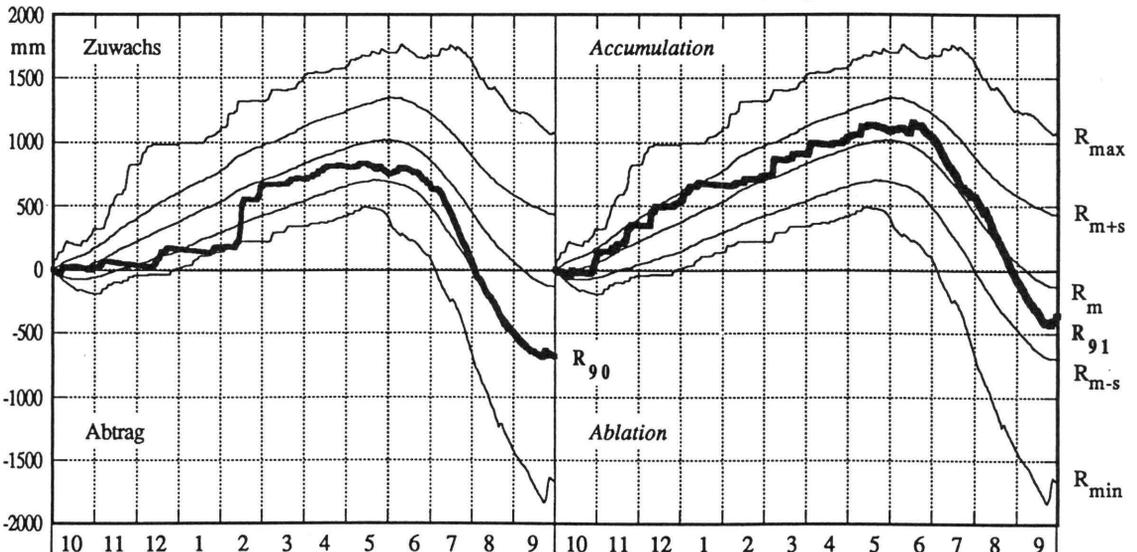
a) Niederschlag, Abfluss und Reservenänderung - Tageswerte

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



b) Reservenänderung - Jahresgang und Vergleichswerte

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

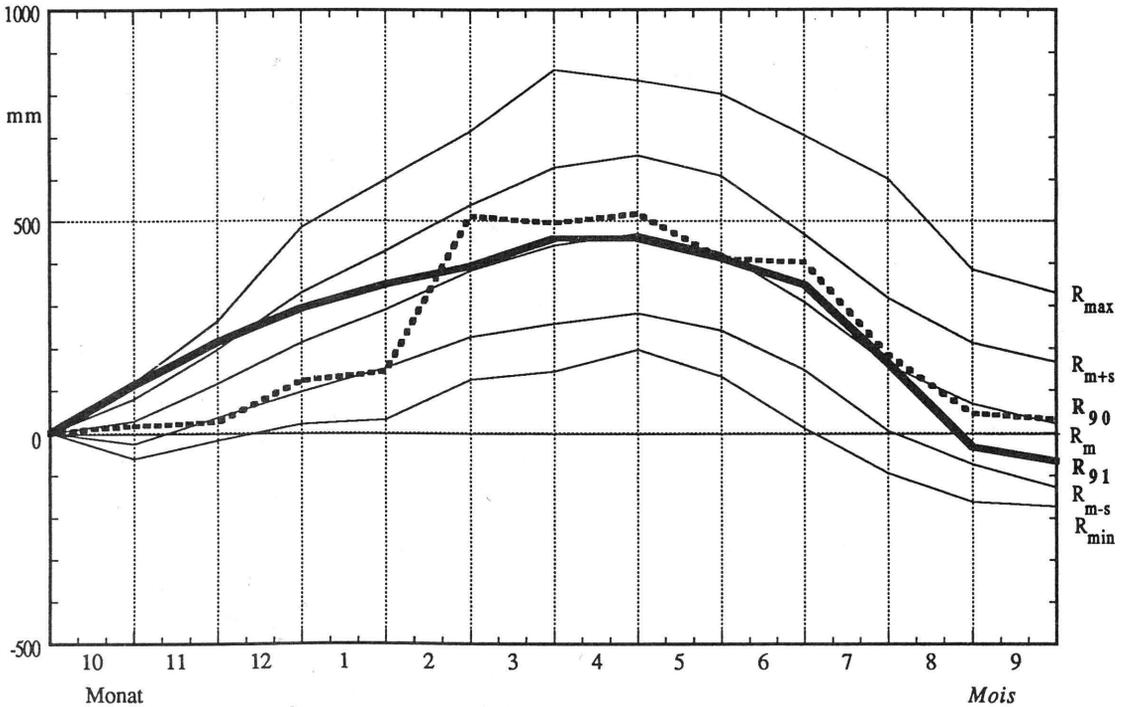


Reservenänderung 1989/90 und 1990/91 - Variations des réserves en eau 1989/90 et 1990/91:  
 $R_{90}$ ,  $R_{91}$  = summierte Tageswerte (1. Okt. - 30. Sept.) - Valeurs quotidiennes cumulées (1er oct. - 30 sept.).

Vergleichswerte 1931-1987 - Valeurs statistiques 1931-1987

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

Abbildung 5.2: Einzugsgebiet Rhone (bis Genfersee) - Reservenänderung 1989/90 und 1990/91: Jahresgang und Vergleichswerte  
 Figure 5.2: Bassin versant du Rhône (à l'amont du Léman) - Variations des réserves en eau 1989/90 et 1990/91: Evolution et valeurs statistiques



Reservenänderung 1989/90 und 1990/91 - Variations des réserves en eau 1989/90 et 1990/91:  
 $R_{90}, R_{91}$  = summierte Monatswerte (Oktober - September) - Valeurs mensuelles cumulées (octobre - septembre).  
 Vergleichswerte 1955-1980 - Valeurs statistiques 1955-1980:  
 $R_m$  = Mittelwert - Moyenne; s = Standardabweichung - Ecart-type;  $R_{max}, R_{min}$  = Extremwerte - Valeurs extrêmes.

Statistische Zahlen der Summenwerte - Paramètres statistiques des valeurs cumulées:

Grösse - Paramètre	Summenwert am Ende des Monats - Valeur cumulée à la fin du mois											
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mittelwert und Standardabweichung 1955-1980 - Valeurs moyenne et écart-type 1955-1980												
$R_m$ [kg/m <sup>2</sup> ]	27.4	116.3	213.1	291.0	381.5	441.9	469.8	425.3	309.2	161.1	69.0	20.1
s [kg/m <sup>2</sup> ]	54.4	81.3	116.9	138.0	155.5	185.3	187.4	183.2	160.2	156.7	143.9	147.9
Normierte Abweichungen - Ecart standardisés <sup>1)</sup>												
$\tilde{R}/\omega_R$ 1989/90	0.0	-1.7	-1.1	-1.6	1.2	0.4	0.4	-0.1	0.9	0.2	-0.2	0.1
$\tilde{R}/\omega_R$ 1990/91	2.4	1.8	1.0	0.7	0.1	0.2	-0.0	0.0	0.5	0.2	-0.9	-0.7

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

Tabelle 5.3: Griesgletscher (Ägina) - Massenänderung 1989/90 und 1990/91 in Höhenstufen

Tableau 5.3: Glacier de Gries (Aegina) - Bilans de masse 1989/90 et 1990/91 en fonction de l'altitude

Messperioden: 27.9.1989 - 26.9.1990

Périodes de bilan: 26.9.1990 - 24.9.1991

Höhenstufe Altitude [m ü.M.][m s.m.]	Fläche Surface [km <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	Massenänderung - Bilan de masse			
		1989/90		1990/91	
		gesamt [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	spezifisch [cm]	total [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	spécifique [cm]
2380 - 2500	0.162 / 0.159 <sup>2)</sup>	- 0.787	- 486	- 0.688	- 433
2500 - 2600		- 2.329	- 383	- 2.037	- 335
2600 - 2700	0.984	- 2.903	- 295	- 2.480	- 252
2700 - 2800	0.543	- 1.211	- 223	- 0.994	- 183
2800 - 2900	0.726	- 1.205	- 166	- 0.929	- 128
2900 - 3000	1.004	- 1.255	- 125	- 0.884	- 88
3000 - 3100	1.597	- 1.581	- 99	- 0.990	- 62
3100 - 3200	0.547	- 0.476	- 87	- 0.263	- 48
3200 - 3300	0.130	- 0.100	- 77	- 0.048	- 37
3300 - 3400	0.010	- 0.007	- 67	- 0.002	- 25
2380 - 3400	6.311 / 6.308 <sup>2)</sup>	- 11.854	- 188	- 9.315	- 148

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

2 Flächen am 22.8.1990 bzw. 10.9.1991, berechnet aus dem Flächenschwund am Zungenende (Einwirkung des Stausees). Surfaces respectives du 22.8.1990 et 10.9.1991, déterminées en tenant compte des pertes au front terminal (influence du lac artificiel).

Tabelle 5.4: Silvrettagletscher - Massenänderung 1989/90 und 1990/91 in Höhenstufen  
 Tableau 5.4: Glacier de Silvretta - Bilans de masse 1989/90 et 1990/91 en fonction de l'altitude

Messperioden: 19.9.1989 - 19.9.1990  
 Périodes de bilan: 19.9.1990 - 18.9.1991

Höhenstufe Altitude [m ü.M.][m s.m.]	Fläche Surface [km <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	Massenänderung - Bilan de masse			
		1989/90		1990/91	
		gesamt [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	spezifisch [cm]	total [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	spécifique [cm]
2400 - 2500	0.031	- 0.104	- 336	- 0.130	- 418
2500 - 2600	0.385	- 0.824	- 214	- 1.109	- 288
2600 - 2700	0.498	- 0.571	- 119	- 0.921	- 185
2700 - 2800	0.789	- 0.395	- 50	- 0.868	- 110
2800 - 2900	0.628	- 0.038	- 6	- 0.389	- 62
2900 - 3000	0.577	+ 0.144	+ 25	- 0.156	- 27
3000 - 3150	0.242	+ 0.133	+ 55	+ 0.015	+ 6
2400 - 3150	3.150	- 1.654	- 53	- 3.558	- 113

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 Haupteergebnisse 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 5.3 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.

Neuerdings wird anstatt der bisher praktizierten Profilvermessung (1924-1968 terrestrisch, ab 1969 luftphotogrammetrisch) die Methode der digitalen Geländeaufnahme eingesetzt. Dabei wird die Höhenkote der Gletscheroberfläche an den Gitterpunkten des Koordinatennetzes im Abstand von 50 m luftphotogrammetrisch bestimmt, um die Dicken- und Volumenänderungen zu berechnen. Die diesbezüglichen Angaben in den Tabellen sind wie bisher dargestellt durch: a) die mittleren Höhenkoten und Dickenänderungen in den Querprofilen (ohne Ausgleich der Rundungsdifferenzen), b) die Volumenänderungen in den Sektoren zwischen den Profilen. Mit dem numerischen Geländemodell ist die Dickenänderung im Durchschnitt auf etwa 1 cm genau bestimmbar. Im Vergleich der mit dem früheren und mit dem neuen Verfahren für die Jahre 1990-1992 erhaltenen Ergebnisse ergaben sich Abweichungen bis 20 cm.

Die Gletscherbewegung wird seit einigen Jahren photogrammetrisch ermittelt aus dem direkten Vergleich der Luftbilder zweier Flüge. Dies ist möglich unter der Voraussetzung, dass die Gletscheroberfläche zur Zeit der beiden Aufnahmen schneefrei, aber mit eindeutig identifizierbaren Objekten oder Strukturen in genügender Menge besetzt ist. Das Messgebiet war zur Zeit der Vermessungsflüge 1989-1991 vollständig aper, die Bewegung jedoch nur im schuttbedeckten vorderen Teil des Zungengebiets bestimmbar.

## 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 5.3. La liste des coordonnées des points de repère est donnée dans le 90<sup>e</sup> rapport (1968/69) qui renseigne sur la durée des observations aux divers sites ainsi que sur le programme selon lequel les mensurations ont été effectuées ces deux dernières décennies.*

Récemment, on a remplacé les relevés par mensurations terrestres (de 1924 à 1968) ou aéro-photogrammétriques (dès 1969) le long des profils pré-définis par une acquisition sous forme d'une maquette numérique de la topographie, avec laquelle on a calculé les données des tableaux déjà présentées précédemment. Dans ces maquettes, la cote d'altitude est déterminée par aéro-photogrammétrie aux noeuds d'une grille équidistante de 50 m. Sur cette base, les données suivantes sont déterminées: a) les cotes d'altitude et les variations d'épaisseur moyennes dans les profils transversaux (présentées sans éliminer les erreurs d'arrondissement), b) les variations de volume dans les secteurs délimités par ces profils. Ainsi, la précision de la variation de l'épaisseur peut être estimée à environ 1 cm. La comparaison des résultats obtenus au moyen de l'ancienne et de la nouvelle méthode pour les années 1990-1992 a donné des écarts jusqu'à 20 cm.

Depuis quelques années, le mouvement glaciaire est déterminé par une méthode photogrammétrique, en comparant directement les clichés aériens de deux vols successifs. Ceci est possible à condition que, lors des deux relevés, la surface glaciaire soit libre de neige, mais recouverte d'un nombre suffisant d'objets ou de structures identifiables. Lors des vols photogrammétriques 1989-1991, la surface glaciaire était déneigée sur tout le secteur observé. Pourtant, on n'a pu déterminer le mouvement que dans les parties inférieures de la langue recouvertes de débris morainiques.

Abbildung 5.3: Aaregletscher - Lage der Querprofile

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

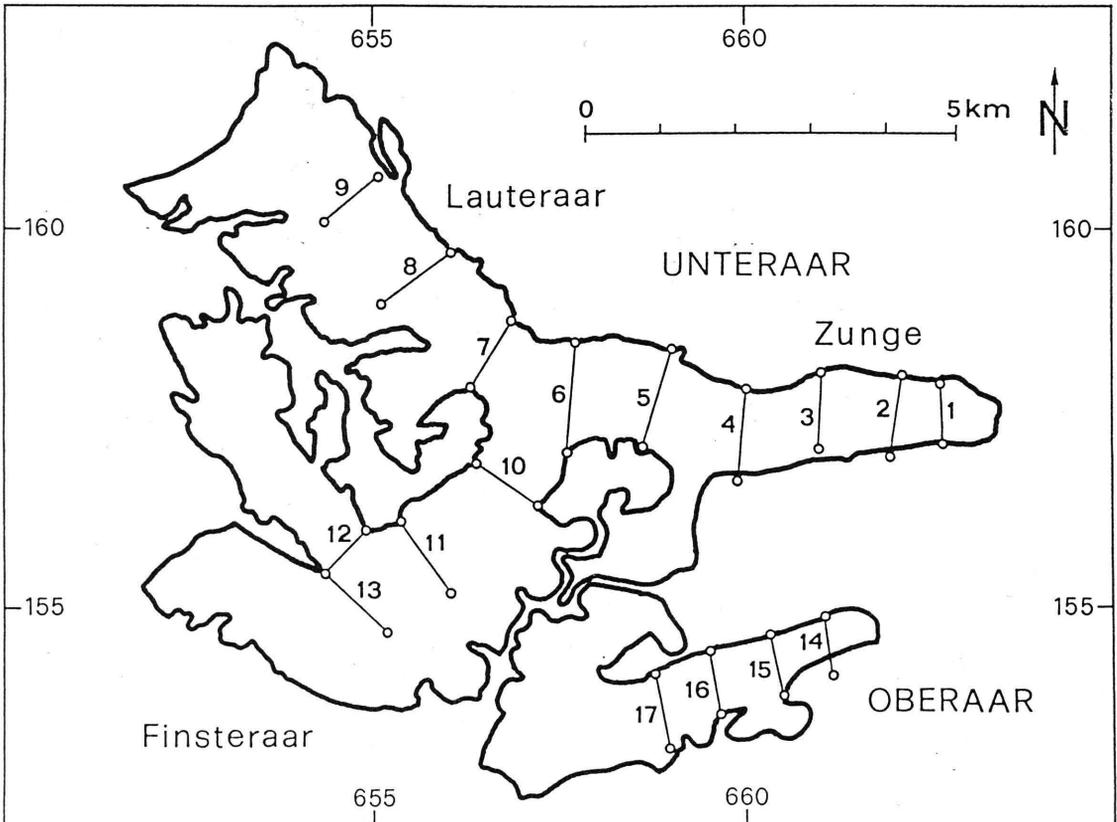


Tabelle 5.5: Aaregletscher 1989/90<sup>1)</sup>

Messperiode: 15.8.1989 - 20./22.8.1990 (Finster-, Lauter- / Ober-, Unteraar)

a) Dickenänderung und Bewegung

Gletscher	Profil (vgl. Abb. 5.3)	Gletscheroberfläche <sup>2a)</sup>			Gletscherbewegung <sup>2b)</sup>			
		Mittlere Höhe		Höhen- änderung [m]	Verschiebung		Geschwindigkeit	
		1989 [m ü.M.]	1990 [m ü.M.]			Mittel [m]	Maximum [m]	Mittel [m/Jahr]
Unteraar	Z Zungenende 1989	1948.9	1946.5	- 2.3	0.9	2.1	0.8	- 0.1
	1 Obere Brandlamm	2022.1	2019.7	- 2.3	3.1	5.6	3.1	+1.3
	2	2121.5	2119.3	- 2.1	15.0	22.8	14.8	+1.3
	3 Pavillon Dollfus	2210.7	2208.4	- 2.2	20.8	29.2	20.5	+1.9
	4	2283.9	2282.0	- 1.8	23.2	31.0	22.9	- 0.9
	5 Mieselenegg	2359.9	2357.0	- 2.8	28.4	40.8	28.0	- 1.0
Lauteraar	6	2427.5	2425.6	- 1.9	28.4	42.3	28.0	- 0.3
	7 Wildläger	2512.8	2510.1	- 2.6				
	8	2643.2	2639.3	- 3.9				
Finsteraar	9	2448.7	2445.5	- 3.1	30.7	42.1	30.3	+2.8
	10 Grunerhorn	2559.1	2556.1	- 2.9	40.1	56.3	39.5	+8.7
	11 Strahlegg	2625.3	2622.1	- 3.2				
	12 Finsteraar	2652.3	2648.2	- 4.0				
Oberaar	13 z Zungenende 1989	2356.4	2353.6	- 2.7				
	14 Mittleres Profil	2483.3	2481.0	- 2.1				
	15 Oberes Profil	2563.0	2560.1	- 2.9				
	16 Oberstes Profil	2673.1	2670.7	- 2.4				
	17							

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

Begrenzungs- profile	Flächen- änderung [m <sup>2</sup> ]	Volumen- änderung [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]	Begrenzungs- profile	Flächen- änderung [m <sup>2</sup> ]	Volumen- änderung [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]
Unteraar	Z - 2	- 21900	Finsteraar	10 - 11	- 4615
	2 - 3	- 2163		11 - 12/13	- 4452
	3 - 4	- 2403	-----		
	4 - 5	- 3022	Z - 9/12/13	-34792	
	5 - 6	- 2987	-----		
	6 - 7/10	- 5789	Oberaar		
-----			z - 14	+ 270	- 140
Lauteraar	7 - 8	- 3624	14 - 15		- 1078
	8 - 9	- 4067	15 - 16		- 1523
			16 - 17		- 1536
			z - 17		- 4277

Tableau 5.6: *Glaciers de l'Aar 1990/91*<sup>1)</sup>  
 Période d'observation: 20.12.8.1990 - 22.8.1991

## a) Variations d'épaisseur et du mouvement

Glacier	Profil (cf. fig. 5.3)	Niveau de la surface <sup>2a)</sup>			Mouvement du glacier <sup>2b)</sup>			
		Altitude moyenne		Variation [m]	Déplacement		Vitesse	
		1990	1991		moyen	maximal	moyenne	Variation
		[m s.m.]	[m s.m.]		[m]	[m]	[m/an]	[m/an]
Unteraar:	Z Front en 1990							
	1	1946.5	1944.9	-1.6	1.0	2.0	1.0	+ 0.2
	2 Obere Brandlamm	2019.7	2017.7	-1.8	2.7	4.9	2.7	- 0.4
	3	2119.3	2117.9	-1.3	15.1	22.1	15.1	+ 0.3
	4 Pavillon Dollfus	2208.4	2207.8	-0.6	18.9	26.9	18.9	- 1.6
	5	2282.0	2280.3	-1.6	18.9	35.4	18.9	- 4.0
	6 Mieselenegg	2357.0	2355.5	-1.5	31.2	43.5	31.2	+ 3.2
Lauteraar	7	2425.6	2423.8	-1.7	28.9	39.8	28.9	+ 0.9
	8 Wildläger	2510.1	2507.4	-2.5	38.4	51.4	38.4	
	9	2639.3	2636.1	-3.1				
Finsteraar	10	2445.5	2444.2	-1.3	36.7	44.5	36.7	+ 6.4
	11 Grunerhorn	2556.1	2553.9	-2.1	38.0	51.8	38.0	- 1.5
	12 Strahlegg	2622.1	2619.9	-2.1				
	13 Finsteraar	2648.2	2645.3	-2.8				
Oberaar	z Front en 1990							
	14 Profil médian	2353.6	2351.8	-1.6				
	15 Profil supérieur	2481.0	2479.4	-1.6				
	16 Profil suprême	2560.1	2558.1	-1.9				
	17	2670.7	2668.5	-2.1				

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 <sup>2</sup> ]	Variation du volume [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]	Profils limitants	Variation de la surface [m <sup>2</sup> ]	Variation du volume [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]	
Unteraar	- 8600	- 1185	Finsteraar		- 3325	
		- 1624			10 - 11	- 3420
		- 991			11 - 12/13	
		- 1715			-----	
		- 2104			Z - 9/12/13	-24809
		- 3565			-----	
Lauteraar		- 3817	Oberaar	- 900	- 952	
		- 3063			15 - 16	- 1069
					16 - 17	- 1212
					-----	
			z - 17		- 3233	

## **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 haben G. Kappenberger und H. Müller-Lemans durchgeführt. Mitgewirkt haben E. Müller-Lemans und P. Beglinger im Frühjahr und Herbst 1990, R. Spiess und U. Steingger im Frühjahr 1991 und letzterer auch im Herbst 1991. Hüttenwart P. Beglinger hat wie sein Vorgänger B. Marti auch 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 [1989-1991b] zugrunde.

### **Beobachtungen 1990**

Bei der Frühjahrsbegehung, am 25. Mai, betrug die Schneehöhe bei der Hütte 210 cm. Die Ablesung am unteren Firnpegel ergab 340 cm, das Sondieren in der Umgebung 346 cm Winterzuwachs. Beim oberen Firnpegel wurde der Sommerhorizont 1989 im Schneeschacht in 440 cm Tiefe ausgegraben, mit der Sonde in der Umgebung durchschnittlich in 338 cm Tiefe eindeutig geortet. Die gesamte Schicht war durch einsickerndes Schmelzwasser bereits aufgetaut. Gut 1 m unter der Oberfläche waren ausser dem Saharastaub vom 21. März auch die von den Orkanstürmen am Jahresanfang auf den Gletscher verfrachteten Steinchen sichtbar.

Bis zur Herbstmessung am 29. September war die Winterschneedecke beim unteren Pegel restlos abgeschmolzen und zudem eine 60 cm starke Schicht alten Firns; beim oberen Pegel war sie im Schacht über dem Ockerhorizont noch 108 cm mächtig. Die Ablesung an der Stange ergab wie die Sondierungen in der Umgebung 90 cm Firnzuwachs. Somit ist anzunehmen, dass von der Herbstmessung bis zum Einschneien die Oberfläche unter dem Ocker gegenüber der Umgebung um 18 cm abgesunken ist.

## Beobachtungen 1991

Bei der Frühjahrsbegehung, am 21. Mai, lag der Schnee bei der Claridenhütte 310 cm hoch. Beim unteren Firnpegel ergab die Ablesung an der Stange 390 cm, das Sondieren in der Umgebung im Mittel 396 cm Schneezuwachs. Beim oberen Firnpegel wurden an der Stange 470 cm, in der Umgebung 460 cm und im Schacht 463 cm Schneezuwachs ermittelt. Die Schneedecke wies durchgehend Temperaturen um  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  auf, die Schmelzumwandlung hatte also noch nicht stattgefunden.

Bei der Herbstmessung am 16. September war beim unteren Firnpegel der Winterschnee abgeschmolzen und eine 145 cm dicke Firnschicht abgetragen. Der Wasserwert des Firnabtrags ist berechnet mit dem Raumgewicht, das an der mindestens 3 Jahre alten obersten Firnschicht ermittelt wurde. Beim oberen Pegel lagen nur noch 36 cm alten Winterschnees, dessen Raumgewicht nahezu dem langjährigen Mittelwert entsprach.

Tabelle 5.7: Claridenfirn 1989/90

Messperiode: 19.9.1989 - 29.9.1990

a) Schnee- und Firnzuwachs, Dickenänderung und Bewegung

Messperiode		Messstellen		Schnee- oder Firnzuwachs			Dicken- änderung [m]	Horizontal- bewegung [m]
vom	bis	Pegel	Höhe [m ü.M.]	Höhe [cm]	Wasserwert [cm]	Raumgewicht [g/cm <sup>3</sup> ]		
<b>Winter</b>								
19.9.89	25.5.90	unterer	2700	346				
19.9.89	25.5.90	oberer	2900	440	207	0.491		
<b>Jahr</b>								
19.9.89	29.9.90	unterer	2700	- 60	- 36	0.6 <sup>1)</sup>	- 1.4	3.0
19.9.89	29.9.90	oberer	2900	108	52	0.481	- 1.7	13.5
<b>Jahreszuwachs 1914-1984 - Accumulation annuelle 1914-1984</b>								
Mittelwert		unterer	2700	75	43	0.573		
Moyenne		oberer	2900	255	144	0.565		
Standardabweichung		unterer	2700	146	86			
Ecart-type		oberer	2900	135	74			

1 Schätzwert

b) Saison- und Jahresniederschlag

Station	Höhe [m ü.M.]	Niederschlag					
		Messperiode <sup>1)</sup>			Hydrologisches Jahr		
		Winter	Sommer	Jahr	Summe	Abweichung vom Normalwert	
		[cm]	[cm]	[cm]	[cm] <sup>2)</sup>	[cm] <sup>3)</sup>	[%]
<b>Totalisatoren</b>							
Claridenhütte	2480	102	77	179	175	- 17	- 9
Geissbüztstock	2710	117	68	185	180	- 23	- 11
<b>Vergleichsstationen</b>							
Tierfeld	820	822	697	1519	1519	- 167	- 10
Elm	962	831	690	1521	1521	- 19	- 1
Disentis	1173	467	374	841	841	- 404	- 32
Braunwald	1190	1113	843	1956	1956	+ 86	+ 5
Unerboden	1350	751	869	1620	1620	+ 14	+ 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 1.10.1989 - 30.9.1990, für die Totalisatoren berechnet aus dem Jahreswert aufgrund der Tageswerte an den Vergleichsstationen.

3 Der Normalwert entspricht dem Mittelwert der Periode [SMA, 1990a,b]:

- 1901/60 Vergleichsstationen
- 1981/90 Totalisator Geissbüztstock: 203 cm
- 1981/90 Totalisator Claridenhütte: 192 cm

Tableau 5.8: Glacier de Clariden 1990/91

Période d'observation: 29.9.1990 - 16.9.1991

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

Période de mesure du au	Site de mesure		Accumulation nivale			Variation d'épaisseur [m]	Déplacement horizontal [m]	
	Balise	Altitude [m s.m.]	Hauteur [cm]	Equivalent en eau [cm]	Densité [g/cm <sup>3</sup> ]			
<b>Hiver</b>								
29.9.90	21.5.91	infér.	2700	396				
29.9.90	21.5.91	supér.	2900	463	175	0.377		
<b>Année</b>								
29.9.90	16.9.91	infér.	2700	- 145	- 88	0.61 <sup>1)</sup>	- 1.3	3.0
29.9.90	16.9.91	supér.	2900	36	20	0.561	+0.3	13.0
<b>Accumulation hivernale 1914-1984 - Winterzuwachs 1914-1984</b>								
Mittelwert		infér.	2700	424	214	0.505		
Moyenne		supér.	2900	474	229	0.483		
Standardabweichung		infér.	2700	96	52			
Ecart-type		supér.	2900	82	41			

1 Valeur estimée

## b) Pluviosité saisonnière et annuelle

Station	Altitude [m s.m.]	Pluviosité					
		Période d'observation <sup>1)</sup>			Année hydrologique		
		Hiver	Eté	Année	Somme	Ecart par rapport à la valeur normale	
		[cm]	[cm]	[cm]	[cm] <sup>2)</sup>	[cm] <sup>3)</sup>	[%]
<b>Totalisateurs</b>							
Cabane de Clariden	2480	106	64	170	195	+ 3	+ 2
Geissbützistock	2710	84	61	145	167	- 26	- 18
<b>Stations pluviométriques</b>							
Tierfehd	820	774	919	1693	1693	+ 7	+ 0
Elm	962	652	928	1580	1580	+ 40	+ 3
Disentis	1173	543	593	1136	1136	- 109	- 9
Braunwald	1190	850	988	1838	1838	- 32	- 2
Urnerboden	1350	784	1051	1835	1835	+229	+14

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 1.10.1990 - 30.9.1991, 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 Silvretta und Engadin

Im Silvrettagebiet haben im Herbst 1990 M. Funk, H Bösch und W. Schmid, im Herbst 1991 J. Schweizer, H. Bösch und A. Kääh die Beobachtungen am Pegelnetz der VAW weitergeführt. Die Angaben in Tabelle 5.9 beziehen sich auf die Pegel 4 (2820 m) und 5 (2715 m). Diese liegen innerhalb des normalen Höhenbereichs der Gleichgewichtslinie nahe am früheren, bis 1985 beobachteten Messpunkt (Firnpegel 2750 m), auf den sich die Angaben in den Tabellen 1.1 und 1.2 beziehen. Im Durchschnitt der 25 Jahre von 1959 bis 1985 lag die Gleichgewichtslinie auf 2732 m ü.M., gemäss Standardabweichung ( $\pm 148$  m) mehrheitlich zwischen 2584 und 2880 m, in den Extremjahren 1965 und 1964 auf 2483 bzw. 3101 m ü.M. (vgl. Tab. 5.1 und 5.4).

In den nachstehenden Berichten kommentiert G. Gensler (SMA) seine telemetrischen Beobachtungen im Berninagebiet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.10 zusammengestellt. Wie uns Herr Gensler im nachstehend zitierten Abschnitt aus seinem Begleitbrief vom 13.11.1991 bekannt gibt, hat er die Beobachtungsreihen, die nunmehr rund ein halbes Jahrhundert umfassen, grossenteils abgeschlossen und beendet mit dem Bericht für 1991 auch die jährliche Berichterstattung, mit der er ab 1950 [Kuhn, 1950] regelmässig zu den schweizerischen Firnberichten (Kap. 5.5.1) beigetragen hat.

"Meine *Firnberichte Berninagebiet* beende ich mit der vorliegenden Ausgabe für 1990/91. Das heisst nicht, dass ich nun von Samaden aus gar nichts mehr zu beobachten gedenke. Solange es mein Sehvermögen zulässt, sollten Messungen absoluter Höhenänderungen von Firn- oder Eisoberflächen anhand benachbarter Felswände oder Felsinseln gegen Ende von Ablationsperioden noch einige Zeit möglich sein. Dagegen werde ich Firnzuwachse über oft diffusen Schmutzhorizonten (je nach Neuschnee, diffuser Beleuchtung, Dunst) nicht mehr weiter verfolgen, da ja zudem die Datierung der Horizonte trotz Beizug der Profilskizzen der Vorjahre öfters nicht ganz eindeutig ist. Die Panoramaskizzen mit dem Ausaperungsbild, die ich 1935 von Samaden aus gestartet habe, meist im August oder September (es fehlen 5 Jahre), möchte ich auch noch weiterführen."

### Beobachtungen 1990

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 1990 folgenden Befund:

- auf *eisfreiem Boden* schmolz der Schnee weiter zurück als in 40 Jahren, ähnlich weit wie in 13 Jahren (1942-45, 1949, 1952, 1959, 1963, 1964, 1982, 1983, 1987 und 1988), aber weniger weit als 1947 und 1950.
- auf dem *Eis* blieb weniger Schnee (oder Firn) liegen als in 39 Jahren, etwa gleich viel wie in 7 Jahren (1938, 1944, 1952, 1953, 1964, 1967 und 1970), aber mehr als in 9 Jahren (1943, 1945, 1947, 1949, 1950, 1959, 1982, 1983 und 1988).

Die Felsumrahmung des Vadretin Misaun ist sichtlich höher geworden, trotz mässig grossem Wärmeüberschuss im Sommer und auch bedingt durch die Schneearmut des Winters.

Der Firnzuwachs über mehrere Jahre ist ermittelt anhand der an Firnspalten und -abbrüchen sichtbaren Eis- und Schmutzhorizonte (Firn-schichtung), 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) und am Mittelgipfel des Piz Palü (Abbrüche, N-NE-exponiert).

Die absolute Höhenänderung der Firnoberfläche am Grat des Palü-Mittelgipfels (ca. 15° geneigt, west-exponiert in 3900 m ü.M.) ist bezogen auf den Ausgangswert vom August 1951. Sie betrug am Ende der Ablationsperiode 1990 noch +31/2 m, d.h. einen halben Meter weniger als 1989, 1983 und 1970, halb-soviel wie 1977, aber einen Meter mehr als 1963.

### Beobachtungen 1991

Gegen Ende der Ablationsperiode war die Ausaperung an den Nordhängen der Berninagruppe, ab 1935 (mit wenigen Unterbrüchen) von Samaden aus skizziert, im Sommer 1991 weiter fortgeschritten als im Vorjahr und in den meisten übrigen Vergleichsjahren:

- im *eisfreien Gebiet* gehört 1991 zu den 5 Jahren mit stärkster Ausaperung; nur 1947, ev. auch 1949 und 1950 waren noch schneeärmer.
- auf den *Gletschern* ergab der Verlauf der Firnlinie sehr ähnliche Muster wie 1990, als ein geringerer Wärmeüberschuss bei einer geringeren Winterschneesicht zur erheblichen Ausaperung führte. Noch stärkeres Ausapern war 1950, 1947, 1945 und 1944, ev. auch 1964, 1952 und 1949 zu verzeichnen. Die Firngrenze lag an flachen Nordhängen zwischen 2980 und 3150 m, an Ost- bis Nordosthängen zwischen 3200 und 3400 m und an Steilhängen auf gut 3600 m Meereshöhe.

Die Höhe der Felsinsel am Misaun hat seit 1988 dauernd zugenommen von 5-6 auf 10 m.

Der mehrjährige Firnzuwachs ist in gleicher Weise und an den gleichen Stellen bestimmt wie im Vorjahr, ausserdem wie in früheren Jahren auch am Piz Morteratsch (Abbruch der Firnkuppe, N-NE-exponiert).

Die Firnoberfläche am Grat des Palü-Mittelgipfels (ca. 15° geneigt, W-exponiert in 3900 m ü.M.) hat sich seit dem Vorjahr um einen halben Meter abgesenkt und lag am Sommerende 1991 rund 3 m über dem Anfangswert von 1951 und 4 m unter dem Maximalwert von 1977.

Tabelle 5.9: Silvrettagletscher - Firnzuwachs 1989/90 und 1990/91

Tableau 5.9: Glacier de Silvretta - Accumulation nivale 1989/90 et 1990/91

Messperiode <i>Période de mesure</i> vom/du bis/au		Messstelle <i>Site de mesure</i>	Höhe <i>Altitude</i> [m ü.M.][m s.m.]	Schneehöhe <i>Hauteur de neige</i> [cm]	Wasserwert <i>Equivalent en eau</i> [cm]	Raumgewicht <i>Densité</i> [g/cm <sup>3</sup> ]
<b>Firnzuwachs - Accumulation nivale</b>						
19.9.89	19.9.90	Pegel 5	2720	-111	-100	0,9 1a)
19.9.89	19.9.90	Pegel 4	2820	- 35	- 21	0,6 1b)
19.9.90	18.9.91	Pegel 5	2718	-230	-207	0,9 1a)
19.9.90	18.9.91	Pegel 4	2818			

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

Tabelle 5.10: Berninagebiet

Tableau 5.10: Massif de la Bernina

a) Firnzuwachs und Dickenänderung 1989/90 und 1990/91  
*Accumulation nivale et variations d'épaisseur 1989/90 et 1990/91*

Messdatum Date de mesure		Dickenänderung <sup>1)</sup> Variation d'épaisseur		Firnzuwachs <sup>2)</sup> Accumulation nivale
Jahr/Année	Datum/Date	Piz Misaun (3000 m) [m]	Piz Rosatsch (3100 m) [m]	Piz Palü (3800-3850 m) [m]
1989/90	23.10.89	+ 0.4	+ 0.4	+ 1.25
	16.3.90	+ 0.3	+ 1.0	+ 2.5
	18.8.90	- 2.2	- 0.8	+ 2
	8.9.90	- 2.7	- 1.1	+ 3
1990/91	1.4.91	+ 4.3	+ 2.9	+ 3.5
	30.6.91	+ 2.8	+ 2.3	+ 1.5
	30.8.91	- 1.4	- 0.5	
	5.9.91			+ 1.5

1 Änderung der Meereshöhe der Firnoberfläche seit Sommerende 1989 bzw. 1990. - *Variation de l'altitude de la surface glaciaire à partir de la fin de l'été 1989 resp. 1990.*

2 Zuwachs seit Sommerende 1989 bzw. 1990 - *Accumulation à partir de la fin de l'été 1989 resp. 1990.*

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

	Firnzuwachs seit Herbst - <i>Accumulation nivale depuis l'automne</i>									
	1989 [m]	1985 [m]	1983 [m]	1981 [m]	1979 [m]	1977 [m]	1974 [m]	1972 [m]	1968/70 [m]	1967/64 [m]
1990 (Sommerhorizont)										
Pers (ca. 3250 m)	1-11/2		3-3 1/2	4 1/2-5	6 1/2-8		11		13-14	16-17
Palü (3800-3850 m)	3	5	8	10	11 1/2	14	16-17	19-21		

	Firnzuwachs seit Herbst - <i>Accumulation nivale depuis l'automne</i>										
	1990 [m]	1989 [m]	1987 [m]	1985 [m]	1983/81 [m]	1979 [m]	1977 [m]	1974 [m]	1972 [m]	1967/64 [m]	1962 [m]
1991 (Sommerhorizont)											
Pers (ca. 3250 m)	1±1/4				5 1/2 - 6		10-11	13		17	21
Piz Morteratsch (3450 m)	3/4		3 3/4			7			12-12 1/2		
Palü (3800-3850 m)	1 1/2	4		6	9 1/2		16	18			

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

Auf dem Jungfraufirn des Grossen Aletschgletschers hat die Abteilung für Glaziologie der VAW das Messprogramm am Pegelnetz unter der Leitung von M. Aellen wiederum in stark reduziertem Umfang durchgeführt. Pegel 3 ist erneuert und weiterbeobachtet worden durch das Personal der Hochalpinen Forschungsstation Jungfrauoch (HFS), das wie bisher monatlich Fernrohrablesungen vorgenommen hat. Feldbegehungen haben bei Pegel 5 am 3.10. und bei Pegel 3 am 30.12.1990 stattgefunden. Dabei ist bei Pegel 5 der Schneezuwachs samt seiner Dichte bestimmt und an beiden Orten das Oberflächenprofil vermessen worden. Da das Protokoll der Pegelablesungen und das Feldbuch mit den Schneemesswerten verlorengegangen, sind Winter- und Jahreszuwachs näherungsweise rekonstruiert aus klimatologischen Daten, gestützt auf statistisch untersuchte Zusammenhänge zwischen dem Firnzuwachs an den einzelnen Pegelstandorten, dem Niederschlag im Einzugsgebiet der Massa (bzw. an den SMA-Stationen Fiesch, Kippel/Ried und Grindelwald) und den an der SMA-Station Jungfrauoch gemessenen positiven Tagestemperaturen (Gradtagsummen). Lage und Höhe des Pegels 3 am 19.9.1990 hat das Vermessungsbüro Leupin, Bern, bei luftphotogrammetrischen Aufnahmen ermittelt und uns freundlicherweise mitgeteilt. Die Ergebnisse der Beobachtungen und Berechnungen sind zusammengefasst in Tabelle 5.11 für das erste, in Tabelle 5.12 für das zweite Berichtsjahr.

Tabelle 5.11: Jungfraufirn - Schnee- und Firnzuwachs, Dickenänderung und Bewegung 1989/90

Messperiode		Messstelle		Schnee- oder Firnzuwachs			Dicken- änderung [m] <sup>4)</sup>	Horizontal- bewegung [m]
vom	bis	Pegel	Höhe [m ü.M.] <sup>1)</sup>	Höhe [cm] <sup>2)</sup>	Wasserwert [cm] <sup>2)</sup>	Raumgewicht [g/cm <sup>3</sup> ] <sup>3)</sup>		
Schneezuwachs								
6.10.89	11.5.90	P 3	3347.5 <sup>a)</sup>	314	157	0.5		
6.10.89	11.5.90	P 5		354	177	0.5		
Firnzuwachs								
6.10.89	11.10.90	P 3	3344.6 <sup>b)</sup>	326	181	0.55	-0.9 <sup>a)</sup>	29.3 <sup>5)</sup>
6.10.89	11.10.90	P 5	3501.9 <sup>c)</sup>	432	240	0.55	-1.9 <sup>b)</sup>	

1 Oberflächenkote am - Cote d'altitude le: a) 4.11.89, b) 19.9.90, c) 3.10.90.

2 Aus klimatologischen Daten berechnete Werte.

3 Schätzwerte.

4 Änderung der Oberflächenkote seit - Variation de l'altitude depuis: a) 4.11.89, b) 28.9.86.

5 Messperiode - Période de mesure: 4.11.89 - 19.9.90.

Tableau 5.12: Jungfraufirn - Accumulation nivale, variation d'épaisseur et mouvement 1990/91

Période de mesure		Site de mesure		Accumulation nette			Variation d'épaisseur [m]	Déplacement horizontal [m]
du	au	balise	altitude [m s.m.]	hauteur de neige [cm] <sup>1)</sup>	équivalent en eau [cm] <sup>1)</sup>	densité [g/cm <sup>3</sup> ] <sup>2)</sup>		
Accumulation de neige								
12.10.90	17.6.91	P 3		446	223	0.5		
12.10.90	17.6.91	P 5		510	255	0.5		
Accumulation de névé								
12.10.90	25.9.91	P 3		302	168	0.55		
12.10.90	25.9.91	P 5		437	243	0.55		

1 Valeurs restituées à partir de données climatologiques.

2 Valeurs estimées.

### 5.5.5 Accumulation nivale (Aperçu)

#### Introduction

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

#### Clariden

Les observations dans la région du glacier de Clariden [Müller et Kappenberger, 1991] ont été poursuivies par G. Kappenberger (qui a rédigé les rapports et les tableaux 5.7 et 5.8 y relatifs) avec l'assistance de H. et E. Müller-Lemans ainsi que du gardien de Cabane P. Beglinger, en 1990, et de H. Müller-Lemans, U. Steinegger et R. Spiess, en 1991.

#### Silvretta et Engadine

Au glacier de Silvretta, les mensurations sur le réseau de balises des VAW ont été poursuivies par M. Funk, H. Bösch et W. Schmid, en 1990, et par J. Schweizer, H. Bösch et A. Kääh, en 1991. Les données du tableau 5.9 se réfèrent aux balises 4 (2810 m) et 5 (2715 m) situées à proximité de l'ancienne balise (2750 m) à laquelle se réfèrent les données des tableaux 1.1 et 1.2. Durant les 25 années de la période 1959-1985, la ligne d'équilibre se trouvait à une altitude moyenne de 2732 m, variant entre 2483 et 3101 m avec un écart-type de  $\pm 148$  m (cf. tabl. 5.1 und 5.4).

Les résultats des observations télémétriques que G. Gensler a effectuées, en 1990 et 1991, dans le massif de la Bernina, sont résumés dans le tableau 5.10 et commentés par lui-même.

#### Jungfraufirn (Glacier d'Aletsch)

Sur les névés du Grand glacier d'Aletsch, la Section de glaciologie des VAW a poursuivi ses relevés annuels par les soins de M. Aellen et avec l'assistance du personnel de la station scientifique du Jungfraujoch. Depuis 1987, seule la balise 3 a été replantée et observée comme d'habitude. Au site de l'ancienne balise 5, l'accumulation nivale a été déterminée par sondages, en octobre 1990. Suite à la perte des données observées, les résultats présentés dans les tableaux 5.11 et 5.12 ont été restitués à partir de données climatologiques.

## 6. SUMMARY

### 6.1 INTRODUCTION

An annual survey of the actual state and recent variations of the glaciers in the Swiss Alps is the central task of the Glacier Commission of the Swiss Academy of Natural Sciences (Gletscherkommission, GK, der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften, SANW). "The glaciers of the Swiss Alps 1989/90 and 1990/91, reports no. 111 and 112" are part of a series founded by F.A. Forel in 1880. Since 1964, the GK/SANW has been indebted to the Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology, an institute of the Federal Institute of Technology (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, VAW, der Eidgenössischen Technischen Hochschule, ETH) in Zurich, for collecting the annual observation data and for the preparation of the annual reports. These reports are published with financial support from the SANW.

A network of 121 glaciers (since 1989 including the Croslina glacier in the Tessin Alps) has been selected to determine the changes in length. The measurements are carried out with help of cantonal forestry services, hydroelectric power companies, scientific institutions and individual coworkers. To determine mass balance changes of 5 glaciers is part of a longterm programme of the VAW. The aerial photogrammetrical survey is made by the Swiss Federal Topographical Survey (Bundesamt für Landestopographie, L+T) and the Swiss Federal Office of Cadastral Surveying (Eidgenössische Vermessungsdirektion, V+D). The description of the climatic conditions are based on data from the Swiss Meteorological Institute (Schweizerische Meteorologische Anstalt, SMA) in Zurich, the Hydrological Service of the Swiss Federal Office for Environment and Forestry (Landeshydrologie, LHG, 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, 1991 and 1992]. In general, the data will be published there one year after the actual observations have been made. The structure and contents of the present volume was standardized in the reports 95 and 96 (1973/74 and 1974/75).

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

## 6.2 CLIMATE AND WEATHER

The climatic conditions of the balance years 1989/90 and 1990/91 led to severe losses of glacier mass. This was mainly due to very low rates of winter snow accumulation and annual precipitation in 1989/90 whilst in 1990/91 heavy melting during a very short, but extremely warm summer was enhanced by a Sahara dust layer. Conditions similar to those of the preceding years were pronounced in 1989/90 and made it the warmest and driest in a series of seven years. It consisted of long dry and warm periods in the first half of the winter season, as well as in the second half of the summer season. In 1990/91, an abundant snow pack accumulated rather regularly from the normal beginning to the late end of the winter season. It had vanished almost completely at the end of the hot summer, when bare ice and old firn layers were exposed to similar limits as in the previous year, i.e. on many glaciers as far as to the top. The amount of meltwater produced on the Aletsch glaciers within 100 days in summer 1991, with a high daily melting rate (2.5 cm of ice), was equal to the amount produced within 153 days in summer 1990 with a lower melting rate (1.5 cm) near the average value (1.4 cm). According to the difference in winter snow accumulation, the net annual loss of glacier mass was generally - except for north-eastern regions - less severe in 1991 than in 1990 (tab. 5.1, fig. 5.1 and 5.2), when the most important losses of the last 20 to 30 years were observed in nearly all the mass balance series.

## 6.3 CHRONICLE

Some glaciological activities and particular glaciological events in the Swiss Alps are reported in this chapter. Further information can be found in the periodical 'ICE' of the International Glaciological Society [Haeberli, 1992]. A list of the flights made over glaciers for aerial photogrammetrical survey in the years 1990 and 1991 is given in table 2.1.

## 6.4 LENGTH VARIATIONS

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

Year	Number of glaciers				mean variation in length	
	advancing	stationary	retreating	sample size	[m]	number of values
1989/90	14	6	91	111	- 9.7	89
1990/91	8	1	100	109	- 12.4	89

Figure 3.3 shows for the years 1879/80 to 1990/91: a) the annual sample sizes (total numbers N of observed and M of measured glacier snouts), b) the fractions of advancing, stationary and retreating glaciers (as a percentage of the respective sample size N) and c) the mean annual variation in length (as an average of M values).

## 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. XXVI).

## 6.6 MASS BALANCE

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

Year	Mass balances [cm]				
	Gries	Aletsch	Limmern	Plattalva	Silvretta
1989/90	- 188	- 103	- 105	- 125	- 53
1990/91	- 148	- 54	<- 135	<- 135	- 113

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

## 7. LITERATUR - LITERATURE

- Aellen, M. 1991: Die Gletscher der Schweizer Alpen im Jahr 1989/90. Auszug aus dem 111. Bericht der GK/SANW. -- Zeitschrift "Die Alpen" 4/1991, 67. Jg., S. 219-240. - *Les glaciers des Alpes suisses en 1989/90. Extrait du 111<sup>e</sup> rapport de la CG/ASSN.* -- Revue "Les Alpes" 4/1991, 67<sup>e</sup> année, p. 219-240.
- Aellen, M. 1992: Die Gletscher der Schweizer Alpen im Jahr 1990/91. Auszug aus dem 112. Bericht der GK/SANW. -- Zeitschrift "Die Alpen" 4/1992, 68. Jg., S. 204-223. - *Les glaciers des Alpes suisses en 1990/91. Extrait du 112<sup>e</sup> rapport de la CG/ASSN.* -- Revue "Les Alpes" 4/1990, 68<sup>e</sup> année, p. 204-223.
- 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.
- Funk, M. and Hoelzle, M. 1992: Application of a potential direct solar radiation model for investigating occurrences of mountain permafrost. -- *Permafrost and Periglacial Processes* 3 (2), p. 139-142.
- 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. 1975: Untersuchungen zur Verbreitung von Permafrost zwischen Flüelapass und Piz Grialetsch (Graubünden). -- *Mitteilungen der VAW* 17, 221 S.
- Haeberli, W. 1992: Eisstürze und Murgänge im Hochgebirge (Vorstudie). -- Nationales Forschungsprogramm 31 (NFP 31): "Klimaänderungen und Naturkatastrophen", 30 S.
- Haeberli, W. 1993: Recent glaciological work in Switzerland (1990-1992). -- *ICE. Bulletin of the International Glaciological Society* 101, p. 3-10.
- Hock, R. 1991: Markierversuche am Grossen Aletschgletscher 1990. -- Praktikumsbericht Universität Freiburg i. Br., 32 S. (unveröffentlicht).
- Hoelzle, M. 1992: Permafrost occurrence from BTS measurements and climatic parameters in the eastern Swiss Alps. -- *Permafrost and Periglacial Processes* 3 (2), p. 143-147.
- Hoelzle, M., Haeberli, W. and Keller, F. 1993: Application of BTS-measurements for modelling permafrost distribution in the Swiss Alps. -- 6th International Conference on Permafrost, Beijing, Proceedings, p. 272-277.
- IAHS (ICSI) - UNEP - UNESCO 1989: World Glacier Inventory - Status 1988. -- World Glacier Monitoring Service (W. Haeberli, H. Bösch, K. Scherler, G. Østrem and C.C. Wallén ed.), ETH Zurich, 390 p.
- IAHS (ICSI) - UNEP - UNESCO 1993: Fluctuations of Glaciers 1985-1990 (Vol. VI). -- World Glacier Monitoring Service (W. Haeberli and M. Hoelzle ed.), ETH Zurich, 322 p.

- Iken, A., Echelmeyer, K., Harrison, W. and Funk, M. 1993: Mechanisms of fast flow in Jakobshavn Isbræ, West Greenland: Part I. Measurements of temperature and water level in deep boreholes. -- *Journal of Glaciology* 39, no. 131, p. 15-25.
- Kasser, P. 1983: Die Variation der Wasservorräte im Einzugsgebiet der Rhone von Porte du Scex. -- 97. und 98. Bericht (Jahrbuch 1975/76-1976/77) der GK/SNG, Kap. 6.2, S. 148-183.
- 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. -- 99<sup>e</sup> et 100<sup>e</sup> rapports (annuaire) de la CG/SHSN, 288 p.*
- Keller, F. 1992: Automated mapping of mountain permafrost using the program PERMAKART within the geographical information system ARC/INFO. -- *Permafrost and Periglacial Processes* 3 (2), p. 133-138.
- Keller, F. 1993: Interaktionen zwischen Schnee und Permafrost. Eine Grundlagenstudie im Oberengadin. -- Diss. ETH Zürich, 145 S.
- Keller, F. and Gubler, H.U. 1993: Interaction between snow cover and high mountain permafrost, Mur-tèl-Corvatsch, Swiss Alps. -- 6th International Conference on Permafrost, Beijing, Proceedings, p. 332-337.
- Kuhn, W. 1950: Der Firnzuwachs pro 1949/50 in einigen schweizerischen Firngebieten. 37. Bericht. -- *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich* 4/1950, 95. Jg., S. 272-277.
- LHG 1989-91: 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.*
- Mothes, H. 1929: Neue Ergebnisse der Eisseismik. -- *Zeitschrift für Geophysik*, Jahrgang 5, Heft 3/4, S. 120-144.
- Müller, H. und Kappenberger, G. 1991: Claridenfirn - Messungen 1914-1984. -- *Zürcher Geographische Schriften* 40, 79 S.
- Müller, P. 1988: Parametrisierung der Gletscher-Klima-Beziehung für die Praxis: Grundlagen und Beispiele. -- *Mitteilungen der VAW* 95, 228 S. (Diss. ETH Zürich).
- Renaud, A. 1963: Analyse climatique des variations de longueur des glaciers de Pizol et Sardona (Suisse). -- *Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles*, vol. 68, fasc. 5, p. 195-204.
- 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 1991: Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen - Winter 1989/90. -- Winterbericht des SLF Weissfluhjoch-Davos Nr. 54, Verlag EDMZ Bern, 166 S.

- SLF 1992: Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen - Winter 1990/91. -- Winterbericht des SLF Weissfluhjoch-Davos Nr. 55, Verlag EDMZ Bern, 200 S.
- SMA 1989-91a: Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, 126.- 128. Jg, 1989 - 1991.
- SMA 1989-91b: Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen auf den Meteorologischen und Regenmess-Stationen der Schweiz. -- Quartalshefte der SMA, 3/1989 - 4/1991.
- SMA 1989-91c: Täglicher Wetterbericht der SMA, September 1989 - Oktober 1991. -- *Bulletins météorologiques quotidiens de l'ISM, septembre 1989 - octobre 1991.*
- SMA 1989-91d: Monatlicher Witterungsbericht der SMA, September 1989 - Oktober 1991. -- *Bulletins climatologiques mensuels de l'ISM, septembre 1989 - octobre 1991.*
- Thyssen, F. und Ahmad, M. 1969: Ergebnisse seismischer Messungen auf dem Aletschgletscher -- Zeitschrift "Polarforschung", Jg. 39/1, Bd. 6, S. 283-293.
- VAW 1990: Jahresbericht der VAW 1990, ETH Zürich, 96 S.
- VAW 1991a: Jahresbericht der VAW 1991, ETH Zürich, 86 S.
- VAW 1991b: Hydrologie und Glaziologie des Griesseegebietes im Jahre 1989/90. -- Bericht Nr. 50.31, im Auftrag der Kraftwerk Ägina AG, Ulrichen, 11 S. (unveröffentlicht).
- VAW 1992a: Hydrologie und Glaziologie des Griesseegebietes im Jahre 1990/91. -- Bericht No. 50.32, im Auftrag der Kraftwerk Ägina AG, Ulrichen, 15 S. (unveröffentlicht).
- VAW 1992b: Pontresina Schafberg. Bericht über die geophysikalischen Sondierungen im Grenzbereich des alpinen Permafrosts im Val Clüx. -- Bericht Nr. 80.4, im Auftrag der Gemeinde Pontresina, des Kreisforstamtes 28, Zuoz, und des Forstinspektorates Graubünden, Chur, 9 S. (unveröffentlicht).
- VAW 1992c: Eisabbrüche vom Hängegletscher in der Westflanke des Eigers. Expertenbericht über die Untersuchungen 1990/91. -- Bericht Nr. 21.1, im Auftrag der Bahnen der Jungfrau-Region, 4 S., Anh. I-IV, 30 S. (unveröffentlicht).
- Vischer, D., Funk, M. and Müller, D. 1991: Interactions between a reservoir and a partially flooded glacier: problems during the design stage. -- 17<sup>e</sup> Congrès des Grands Barrages, Wien, Q. 64, R. 8, p. 113-135.
- Vonder Mühl, D. 1993: Geophysikalische Untersuchungen im Permafrost des Oberengadins. -- Mitteilungen der VAW 122, 222 S. (Diss. ETH Zürich).
- Vonder Mühl, D. and Schmid, W. 1993: Geophysical and photogrammetrical investigations of rock glacier Muragl I, Engadin, Swiss Alps. -- 6th International Conference on Permafrost, Beijing, Proceedings, p. 654-659.
- WGMS 1993: Glacier mass balance bulletin No. 2 (1990-1991). -- World Glacier Monitoring Service (W. Haeberli, E. Herren and M. Hoelzle ed.), ETH Zurich, 70 p.

## PUBLIZIERTE BERICHTE - RAPPORTS PUBLIÉS

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

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

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 - 113	1983/84 - 1991/92

### 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

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 - 69, Bern 1925 - 1993	45 - 113*)

\*) publiziert ohne Tabellen - *publiés sans les tableaux* 71 - 75  
 publiziert in gekürzter Fassung - *publiés en extrait* 85 - 113

### 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 - 111/112