

## Die Gletscher der Schweizer Alpen 1998/1999

**Das 120. Berichtsjahr der Glaziologischen Kommission, das mit einer ungewöhnlichen Akkumulation von Schnee im Winterhalbjahr 1998/99 begann, wird wegen der ausserordentlichen Lawinenschäden noch lange in Erinnerung bleiben. Der extreme Massenzuwachs im Winter war auch der Grund für den ausgeglichenen Massenhaushalt, obwohl der Sommer überdurchschnittlich warm war. Die Längsänderungen sind im Vergleich zum Vorjahr praktisch gleich geblieben, was bedeutet, dass die meisten Gletscher weiterhin in einer starken Schwundphase sind.**

### Einleitung

Ergänzend zu den langfristigen Beobachtungen der Gletscherveränderungen liefern Eisbohrkerne aus kalten Firngebieten der Arktis, Antarktis und den sehr hoch gelegenen alpinen Gebirgsregionen der Erde wertvolle Informationen zu Klima und Atmosphärenzusammensetzung der Vergangenheit. Während die polaren Eisschilder vor allem die globalen Klimaänderungen der letzten 200 000 bis 400 000 Jahre widerspiegeln, decken die Eisbohrkerne aus dem Alpenraum als Klimaarchive vermutlich nur gerade knapp das Holozän (die letzten 10 000 Jahre) ab. Sie liegen jedoch sehr nahe an den anthropogen beeinflussten Zentren Mitteleuropas, was ihnen eine besondere Bedeutung verleiht. In den letzten Jahren wurden in mehreren interdisziplinären Projekten durch zahlreiche Forschergruppen aus allen Alpenländern Eiskerne gebohrt und ausgedehnte glaziologische und glaziochemische Untersuchungen an den Bohrlokalitäten und den Kernen durchgeführt (vgl. u. a. Oeschger et

Tabelle 1

### Titel der monatlichen Witterungsberichte der MeteoSchweiz 10. 1998–9. 1999

| 1998      |   |
|-----------|---|
| Oktober   | Sonnenarm, nass und stürmisch, besonders im Norden                    |
| November  | Im Süden trocken und sonnig, im Norden nass, ab Monatsmitte kalt      |
| Dezember  | Nach winterlichem Beginn niederschlagsarm, im Mittelland viel Sonne   |
| Jahr      | Warm und überwiegend sonnig, geringe Unwetterschäden                  |
| 1999      |   |
| Januar    | Extrem milder Beginn, winterliches Ende, sehr sonnig im Mittelland    |
| Februar   | Schneechaos und Lawinenkatastrophen, im Süden trocken und sonnig      |
| März      | Wechselhaftes Märzwetter, günstige Jetstreams für Breitling Orbiter 3 |
| April     | Nass und gewitterhaft, sonnenarm, aber zu mild                        |
| Mai       | Deutlich zu warm, in der Deutschschweiz extreme Niederschläge         |
| Juni      | Sehr wechselhaft und nass mit teilweise intensiver Gewittertätigkeit  |
| Juli      | Wechselhaft warm, Canyoning-Tragödie in der Saxetschlucht             |
| August    | Warm, aber überwiegend nass und sonnenarm                             |
| September | Erst strahlend schön, dann regnerisch trüb; durchwegs sehr warm       |
| Jahr      | Nass und doch warm; Lawinen, Überschwemmungen, Hagel, Orkan           |

Quelle: MeteoSchweiz

al. 1977, Haeberli et al. 1988, Wagenbach et al. 1988, Haeberli and Funk 1991, Blunier et al. 1995, Döscher et al. 1995). Schwerpunkt mässig wurden an vier Orten Kerne geborgen: am Colle Gnifetti (4450 m ü. M., Monte-Rosa-Massiv), am Dôme du Gouter (4250 m ü. M., Montblanc-Gebiet), am Fieschersattel (3850 m ü. M., Berner Oberland) und am Colle del Lis (4240 m ü. M., Monte Rosa). Die Kerne erlauben Rückschlüsse auf die Atmosphärenzusammensetzung im vorindustriellen sowie im stark anthropogen beeinflussten Zeitraum der letzten 100 bis 1000 Jahre. Details zu neueren Analysen und Ergebnissen aus diesem Forschungszweig sind im Anhang beschrieben.

### Witterung und Klima

#### Witterung und Klima im hydrologischen Jahr 1998/99

Gemäss WMO (World Meteorological Organization) schliesst das Jahr 1999 das wärmste Jahrzehnt und das wärmste Jahrhundert der letzten tausend Jahre ab. Seit 1860 werden die Temperaturen weltweit systematisch registriert. Die sieben wärmsten Jahre der Statistik traten alle in den 1990er-Jahren auf! Mit 0,3 bis 0,4 °C über dem Normalwert (1961–1990) liegt 1999 auf Rang 5 der wärmsten Jahre.

Auch in der Schweiz war das Berichtsjahr 1998/99 überdurchschnittlich warm und insbesondere im nördlichen Teil zu nass. Lange wird wohl auch der Winter mit den extremen Schneefällen und grossen Schadenlawinen in Erinnerung bleiben (vgl. Tab. 1).

### Temperatur

Einzig der November und der Februar fielen zu kalt aus. Dem stehen die zu warmen Monate Januar, März, Mai, Juli, August und September gegenüber, also vor allem die für die Ausaperung der Gletscher wichtigen Sommermonate. Dies erklärt sich aus den bis Ende Oktober ausbleibenden Kaltlufteinbrüchen. Aussergewöhnlich warm waren der Mai (Schneeschmelze!) und der September, die Werte lagen zwischen 1,0 und 2,5 °C über dem langjährigen Durchschnitt (vgl. Fig. 1a).

**Der Geltengletscher erstreckt sich über rund 3 km Breite. Er liegt zwischen Arpelistock, Geltenhorn und Wildhorn im Berner Oberland. Der Schnee ist so weit ausgeapert, dass die orografisch linke Zunge deutlich definiert werden kann. Auf Grund der flachen Zungenform kann bereits von blossen Auge vermutet werden, dass sich der Gletscher auf dem Rückzug befindet.**



Foto: Andreas Wipf, 14. 10. 1999



Der Tungeletscher nord-östlich vom Wildhorn (BE) im Herbst 1999. Im Vordergrund ist seine Ausdehnung im Hochstand der «Kleinen Eiszeit» um 1850 gut erkennbar. Während des Rückzuges teilte der Felskopf in der Bildmitte, Skitouristen als «Chilchli» bekannt, den Gletscher in zwei Teillappen. Solche Aufspaltungen traten auch bei anderen Gletschern häufig auf. Sie erschweren die Definition des Zungenendes und somit die Arbeit der Gletschervermesser.

Das Zungenende des östlichen Lappens des Tungeletschers (vgl. auch Abb. oben) zeigt typische Merkmale eines Gletscherrückzuges: flache, spitz zulaufende Form, hier zusammen mit Spaltenbildung.



Das Gletschervorfeld des Geltengletschers lässt erahnen, welche Eismasse in den 150 Jahren seit der «Kleinen Eiszeit» abgeschmolzen ist. Die entsprechende linke Seitenmoräne zeichnet sich

deutlich ab. Die verschiedenen Lappen werden bei der Gletschervermessung berücksichtigt. Allerdings stößt bei ähnlichen Zungenformen oft ein Teil vor, ein anderer zieht sich zurück.

**Niederschlag**

Nach zwei durchschnittlichen Jahren lagen im Berichtsjahr die Niederschlagsmengen deutlich über der Norm. Zu nass, teilweise viel zu nass waren Oktober, April, Juni und September. Dagegen fielen die Monate Dezember und Juli zu trocken aus. Südlich des Alpenhauptkamms resultierten bis zu 20%, nördlich davon 40, teilweise gar bis 60% Überschuss (vgl. Fig. 1b). In weiten Teilen fielen im ersten Halbjahr 1999 die grössten Niederschlagsmengen des Jahrhunderts, wobei lokal bisherige Rekorde deutlich übertroffen wurden. Hauptgrund dafür waren die nassen Monate Februar, April, Mai und Juni.

**Sonnenschein**

Die Sonnenscheindauer erreichte lediglich rund 90% der Durchschnittswerte. Sonnenarm waren in den Alpen vor allem die Monate Februar bis Juni sowie der August.

**Massenhaushalt und Gletscherbewegung**

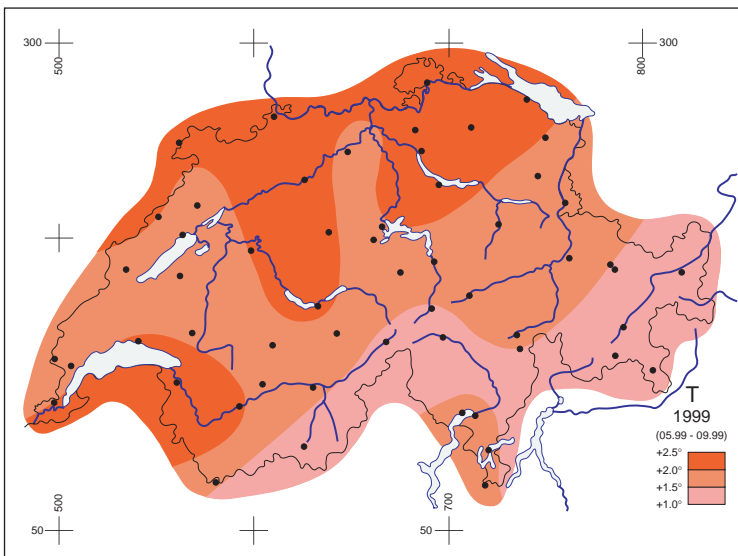
Der Massenhaushalt wird in der Schweiz zurzeit an vier Gletschern mit verschiedenen Methoden be-

stimmt. Zu den bisher beobachteten Gletschern Aletsch, Gries und Silvretta ist neu noch der Ghiacciaio del Basòdino im Tessin dazugekommen. Dieser Gletscher hat eine Fläche von 2,4 km<sup>2</sup> und erstreckt sich vom Gipfel des Basòdino auf 3272 m ü. M. über eine Höhendifferenz von ca. 700 m bis zu seiner breiten, auf einem Felsbett liegenden Zunge, die seit 1892 regelmässig vermessen wird. Seit 1992 wird zusätzlich auch jedes Jahr regelmässig die Massenbilanz mit der direkten glaziologischen Methode bestimmt (vgl. Fig. 2, Kappenberger and Aellen 1998).

Die diesjährigen Massenbilanzergebnisse zeigen ein recht inhomogenes Bild. Am Silvrettagletscher in den Bündner Alpen, der dieses Jahr kaum ausgeapert war, gab es eine Dickenzunahme von +0,52 m Wasseräquivalent zu verzeichnen. Am Griesgletscher im Nufenengebiet war die Bilanz trotz der sehr grossen Schneemengen im Winter mit -0,58 m negativ. Auch der Basòdino hatte mit -0,44 m eine negative Bilanz. Die Aletschgletscher, an welchen die Bilanz mit der hydrologischen Methode bestimmt wird, hatten eine positive Bilanz von +0,24 m. Aus den Witterungsdaten der MeteoSchweiz (vgl. Fig. 1a und 1b) kann man schliessen,

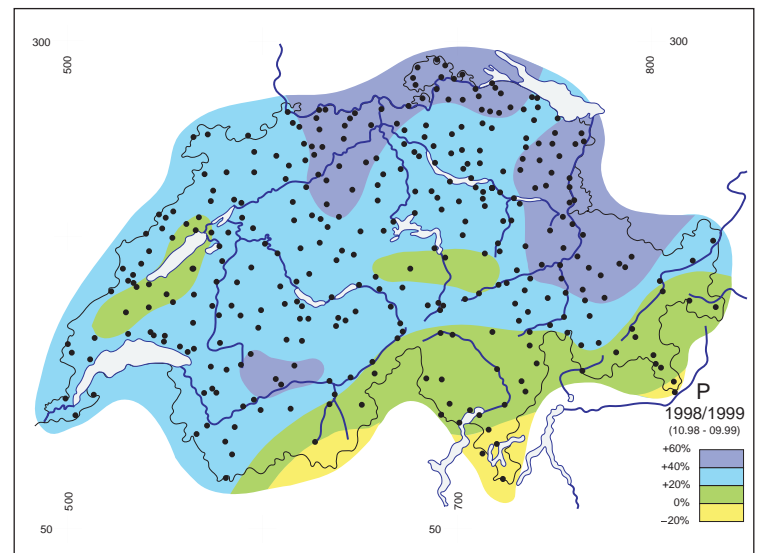
dass der höhere Niederschlag im Norden für die unterschiedliche Massenbilanz der Gletscher verantwortlich gewesen sein dürfte. Zudem war der Sommer, obwohl im Mittelland nicht sehr badefreundlich, wiederum viel zu warm, sodass auch die grossen Schneemengen dies vor allem in den südlichen Gebieten nicht kompensieren konnten.

Auf den Gletschern Giétro und Corbassière im Unterwallis werden im Auftrag der Kraftwerke Mauvoisin saisonale sowie jährliche Geschwindigkeiten gemessen. Bei diesen Messungen, welche seit 1966 durchgeführt werden, fällt auf, dass die Geschwindigkeiten noch nie so tief waren wie im letzten Jahr. So lagen zum Beispiel die Geschwindigkeiten am Pegel 6 im oberen Teil des Ablationsgebietes beim Glacier de Giétro im Jahre 1982 bei fast 120 m pro Jahr. Letztes Jahr erreichte der Gletscher an diesem Pegel gerade noch eine Geschwindigkeit von ca. 55 m pro Jahr, d. h., die Fliessgeschwindigkeit des Gletschers wurde in den letzten 18 Jahren halbiert. Beim Glacier de Corbassière kann die gleiche Tendenz festgestellt werden. Solche Geschwin-



**Figur 1a**  
Sommertemperatur 1999  
(Mittelwert 1.5.99 bis  
30.9.99): Abweichung in  
Grad Celsius

**Figur 1a und 1b:**  
Sommertemperatur 1999  
und Jahresniederschlag  
1998/1999: Abweichungen  
vom Normalwert 1901  
bis 1960  
(Quelle: MeteoSchweiz)



**Figur 1b**  
Jahresniederschlag  
1998/1999 (Summe 1.10.98  
bis 30.9.99): Abweichung  
in Prozent

digkeitsabnahmen können mit dem Dickenverlust der Gletscher in ihrer Schwundphase parallel einhergehen.

### Längenänderung

Die Schweizer Gletscher haben sich auch 1999 in der Mehrzahl zurückgezogen. Dies zeigt die Auswertung der Daten, die die schweizerischen Gletscherbeobachter im Rahmen der alljährlichen Erhebungen für die Glaziologische Kommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW) im Herbst 1999 auf den zum Teil beschwerlichen und immer länger werdenden Wegen zu ihren Gletschern gesammelt haben. Von den insgesamt 121 Messnetz-gletschern konnte bei 98 Gletschern die Zungenveränderung bestimmt werden (vgl. Fig. 4). Davon sind 9 vorgestossen und 85 sind auf dem Rückzug. Vier Gletscher veränderten ihre Zungenposition nur unwesentlich. Die Maximalwerte wurden mit einem Rückzug von  $-106$  m am Allalingletscher und mit einem Vorstoss von  $+83$  m am Turtmannletscher gemessen.

Der diesjährige Vorstoss einiger Gletscher ist vor allem auf die ausserordentlich grossen Schneemengen des Winters 1998/99 zurückzuführen. Insbesondere kleine Gletscher sind in der Lage, auf solche kurzfristigen Witterungseinflüsse sehr schnell zu reagieren. Ihre Vorstossbeträge wer-

den in der Regel durch Schneeanlagerungen am Zungenende verursacht. Dieses Verhalten steht im Gegensatz zu «normalen» Gletschervorstössen. Diese sind oft eine Folge von langfristig kühler und niederschlagsreicher Witterung, die zu einem Massenüberschuss im Nährgebiet führt. Dieser Massengewinn pflanzt sich danach durch eine dynamische Reaktion bis zur Gletscherzunge fort. Gerade die grossen Gletscher benötigen aber zum Teil mehrere Jahre, bis sie auf Klimaveränderungen reagieren (vgl. Fig. 3).

### Dank

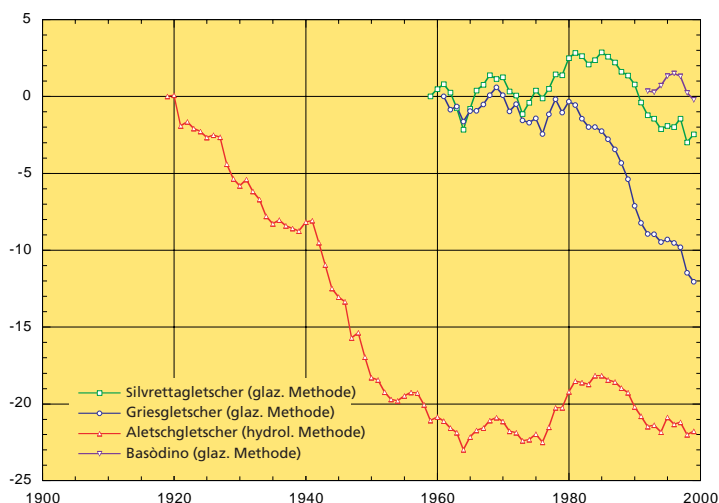
Die Glaziologische Kommission der SANW ist bei der Beobachtung der Gletscher in der 120. Messperiode wiederum tatkräftig unterstützt worden. Ein besonderer Dank geht an die Helfer, auf deren regelmässiges Mitwirken wir angewiesen sind: an alle direkt oder indirekt beteiligten Personen bei den Forstdiensten der Gebirgskantone, bei den Kraftwerken Ägina, Mattmark, Mauvoisin und Oberhasli, im Bundesamt für Landestopographie, bei MeteoSchweiz, in der Landeshydrologie und -geologie, am Schweizerischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung, in den Geografischen Instituten der ETH und der Universität Zürich sowie der

Abteilung Glaziologie und der Direktion der VAW an der ETHZ. Ein weiterer Dank gebührt allen bei den Aufnahmen im Gelände oder bei der Daten- und Textbearbeitung im Büro privat mitwirkenden Personen.

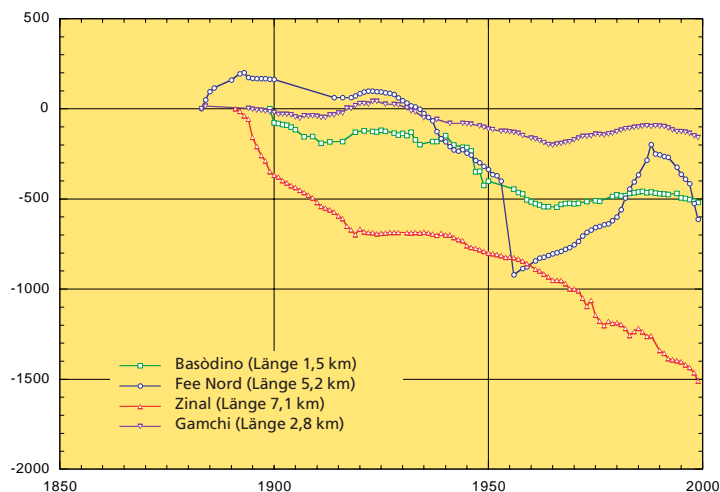
## Anhang: Hochalpine Gletscher als Zeugen der Geschichte der Luftverschmutzung

### Gletscher als Archive

Gletscher archivieren nicht nur den Schnee, aus dem sie gebildet werden, sondern auch die darin enthaltenen chemischen Spurenstoffe. Diese werden von den Schneeflocken auf dem Weg von der Wolke zur Gletscheroberfläche aus der Luft aufgenommen. Da sie dabei aus der Luft entfernt werden, reinigt sich deshalb die Atmosphäre. Was als Verunreinigung mit dem Schnee niederfällt, bleibt Schicht um Schicht im Gletscher deponiert und kann als Dokumentation der Luftverschmutzung vergangener Zeiten verwendet werden. Je nach Gletschermächtigkeit und Schneeakkumulationsrate ist in den Alpen die Geschichte der Luftverschmutzung über Zeiträume bis zu

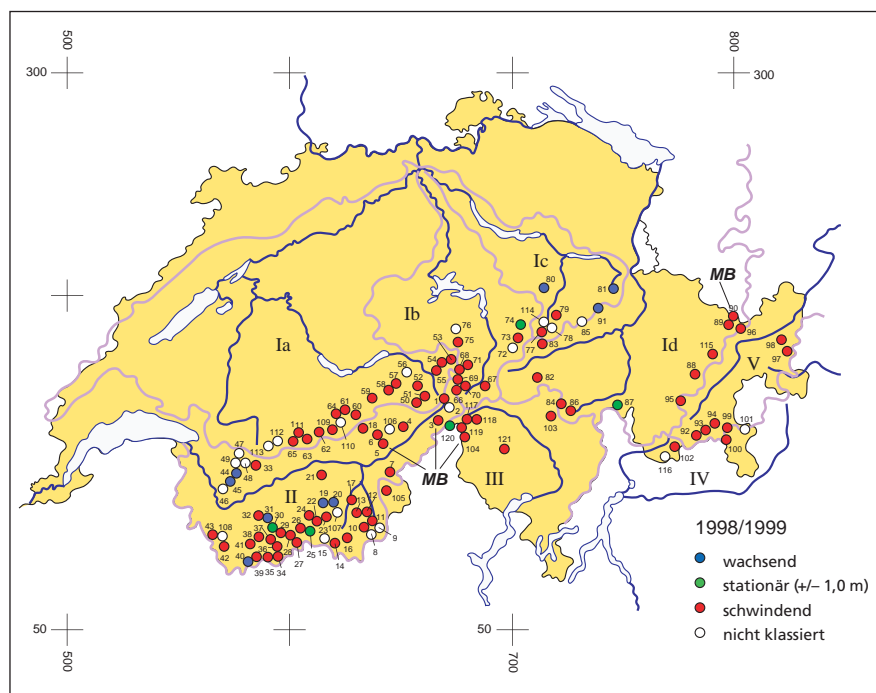


**Figur 2**  
Aufsummierte jährliche  
Massenänderung (in m)  
der Massenhaushaltgletscher  
Aletsch, Basòdino,  
Gries und Silvretta



**Figur 3**  
Aufsummierte jährliche  
Längenänderung (in m) für  
vier ausgewählte Gletscher  
des Messnetzes mit unter-  
schiedlichem Reaktions-  
und Anpassungsverhalten  
auf das Klima

**Figur 4**  
Längenänderung der Gletscher in den Schweizer Alpen 1999 – qualitativ



einigen tausend Jahren dokumentiert. Allerdings sind nur solche Gletscher geeignet, die das ganze Jahr Niederschlag in Form von Schnee erhalten, da Regen die chemische Chronologie zerstören würde. Solche kalten Gletscher sind in den Alpen erst in Höhen oberhalb von ungefähr 4000 m ü. M. zu finden (Funk, 1994). Deshalb konzentrierten sich bisherige Paläo-Atmosphärenstudien auf Gletscher im Monte-Rosa-Gebiet (Colle Gnifetti, Grenzletscher, Lysjoch), im Montblanc-Gebiet (Col du Dôme) sowie im Berner Oberland (Fiescherhorn Plateau).

**Durchführung einer Bohrung**

So einfach das Prinzip der tiefgekühlten Aufbewahrung von Schadstoffen der Vergangenheit auch erscheinen mag, so anspruchsvoll ist das Entnehmen von Proben und Analysieren solcher Archive. Dazu hat sich ein speziell für den Einsatz im Hochgebirge konstruierter Leichtgewichts-Eiskernbohrer<sup>1</sup> bewährt. Dieser elektromechanische Eisbohrer wird durch flexible Solar-Panels oder einen Generator mit Strom versorgt. Die so

<sup>1</sup> Dieser Leichtgewichts-Eiskernbohrer wurde von Felix Stampfli, FS Inventor AG, Muri, entwickelt.

gewonnenen Eiskerne haben einen Durchmesser von etwa 8 cm und eine maximale Länge von 90 cm pro Bohrhieb. Das Gesamtgewicht des Eisbohrers beträgt nur 230 kg, inklusive Bohrzelt und Stromversorgung. Dazu kommt, dass jedes Einzelteil durch Träger transportiert werden kann. Das ist besonders wichtig für den Gebrauch im extremen Hochgebirge wie beispielsweise in den Anden, wo Helikopter nicht mehr für den Materialtransport einsetzbar sind.

**Chemische Analyse der Eisbohrkerne und Datierung**

Die Eisbohrkerne werden noch auf dem Gletscher ausgemessen, dann in kürzere Stücke zersägt, in Plastschläuche verpackt und gefroren ins Labor transportiert. Dort erfolgt im Tiefkühlraum bei -20 °C die weitere Verarbeitung wie Dichtebestimmung, Entfernen der eventuell durch den Transport verschmutzten äusseren Schicht sowie Zersägen in Teilstücke. Nach dem Auftauen dieser Teilproben werden die unterschiedlichen chemischen Spurenstoffe analysiert (Schwikowski, 1997).

**«Jahrringe» beim Eis**

Die erste Aufgabe besteht in der Bestimmung des Alters der Eisproben. Dazu eignen sich mehrere Methoden. Das Abzählen von Jahreschichten analog zur Baumjahrringdatierung liefert die genauesten Ergebnisse, ist aber nur anwendbar bei

Gletschern mit hohen jährlichen Niederschlagsmengen (Akkumulationsraten) (vgl. Fig. 5, Schwikowski et al., 1999a; Eichler et al., 2000). Dabei nutzt man die Tatsache, dass sich die Schneekristalle von Sommer- und Winterniederschlägen geringfügig in ihrer Zusammensetzung unterscheiden (unterschiedliche δ<sup>18</sup>O-Gehalte im H<sub>2</sub>O-Molekül). Diese Unterschiede können mit empfindlichen Analysegeräten bestimmt werden.

**Nukleare Datierung**

Für Gletscher mit unregelmässiger Deposition der Niederschläge, z. B. in Sattellagen wegen starker Winderosion, kann eine andere Methode eingesetzt werden: die nukleare Datierung. Dabei wird eine in der Atmosphäre vorkommende natürliche radioaktive Form von Blei (Pb-210) verwendet, die mittels Niederschlägen auf die Gletscheroberfläche gelangt. Diese Technik erlaubt eine Altersbestimmung über etwa hundert Jahre (Gäggeler et al., 1983; Eichler et al., 2000).

**Einschlüsse als Zeitmarker**

Zusätzlich können auch die im Gletscher gespeicherten Überreste von historischen Ereignissen als Zeitmarker benutzt werden wie beispielsweise die erhöhte Radioaktivität in der Atmosphäre auf Grund von oberirdischen Atombombentests der

Tabelle 2

## Gletscher der Schweizer Alpen – Längenänderung 1998/99

| Nr.                                 | Gletscher                 | Längen-<br>änderung<br>(m) | Nr.  | Gletscher              | Längen-<br>änderung<br>(m) | Nr.   | Gletscher          | Längen-<br>änderung<br>(m) |
|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------|--|------------------------|----------------------------|---|--------------------|----------------------------|
| <b>Einzugsgebiet der Rhone (II)</b> |                           |                            | 44   | Paneyrosse             | 11,4                       | 114   | Plattalva          | n                          |
| 1                                   | Rhone                     | - 11 <sup>2</sup>          | 45   | Grand Plan Nivé        | 9,8                        | 79  | Sulz               | - 3,6                      |
| 2                                   | Mutt                      | n                          | 46   | Martinet               | n                          | 80  | Glärnisch          | 4,6                        |
| 3                                   | Gries                     | - 16                       | 47   | Sex Rouge              | n                          | 81  | Pizol              | 29,8                       |
| 4                                   | Fiescher                  | - 26,3                     | 48   | Prapio                 | sn                         |   |                    |                            |
| 5                                   | Grosser Aletsch           | - 46 <sup>2</sup>          | 49   | Pierredar              | n                          |   |                    |                            |
| 106                                 | Mittelaletsch             | n                          |  |                        |                            | <b>Einzugsgebiet des Rheins/Bodensee (Id)</b> |                    |                            |
| 6                                   | Oberaletsch               | - 21,52                    | <b>Einzugsgebiet der Aare (Ia)</b>         |                        |                            | 82  | Lavaz              | - 215 <sup>4</sup>         |
| 7                                   | Kaltwasser                | - 11,2                     | 50   | Oberaar                | n                          | 83  | Punteglias         | - 28 <sup>2</sup>          |
| 8                                   | Tälliboden                | n                          | 51   | Unteraar               | n                          | 84  | Lenta              | - 56,3                     |
| 9                                   | Ofental                   | n                          | 52   | Gauli                  | - 5                        | 85  | Vorab              | sn                         |
| 10                                  | Schwarzberg               | - 13 <sup>2</sup>          | 53   | Stein                  | - 6                        | 86  | Paradies           | - 5,4                      |
| 11                                  | Allalin                   | - 106                      | 54   | Steinlimmi             | - 3                        | 87  | Surette            | 0                          |
| 12                                  | Kessjen                   | - 16 <sup>7</sup>          | 55   | Trift (Gadmen)         | - 60                       | 115   | Scaletta           | - 3                        |
| 13                                  | Fee (Nord)                | - 86,6                     | 56   | Rosenloui              | n                          | 88  | Porchabella        | - 6,5                      |
| 14                                  | Gorner                    | - 11,6                     | 57   | Oberer Grindelwald ca. | - 25                       | 89  | Verstankla         | - 10,3                     |
| 15                                  | Zmutt                     | n                          | 58   | Unterer Grindelwald    | - x                        | 90  | Silvretta          | - 6                        |
| 16                                  | Findelen                  | - 114 <sup>3</sup>         | 59   | Eiger                  | - 7,2                      | 91  | Sardona            | 4,2                        |
| 107                                 | Bis                       | n                          | 60   | Tschingel              | - 1,3                      |   |                    |                            |
| 17                                  | Ried                      | - 16                       | 61   | Gamchi                 | - 10,8                     | <b>Einzugsgebiet des Inns (V)</b>             |                    |                            |
| 18                                  | Lang                      | - 18                       | 109  | Alpetli                | - 13,7                     | 92  | Roseg              | - 34,6                     |
| 19                                  | Turtmann                  | 82,5                       | 110  | Lötschberg             | n                          | 93  | Tschierva          | - 39,6                     |
| 20                                  | Brunegg<br>(Turtmann Ost) | 27,1                       | 62   | Schwarz                | - 10                       | 94  | Morteratsch        | - 38,9                     |
| 21                                  | Bella Tola                | - 2,9                      | 63   | Lämmern                | - 2,8                      | 95  | Calderas           | - 13,4                     |
| 22                                  | Zinal                     | - 45                       | 64   | Blümlisalp             | - 8,6                      | 96  | Tiatscha           | - 18,4                     |
| 23                                  | Moming                    | - 42                       | 111  | Ammerten               | - 3                        | 97  | Sesvenna           | - 7,3                      |
| 24                                  | Moiry                     | - 12                       | 65   | Rätzli                 | ca. - 8                    | 98  | Lischana           | - 9,42                     |
| 25                                  | Ferpècle                  | - 1                        | 112  | Tungel                 | sn                         |   |                    |                            |
| 26                                  | Mont Miné                 | - 12                       | 113  | Gelten                 | sn                         |   |                    |                            |
| 27                                  | Arolla (Mont Collon)      | - 15                       |  |                        |                            | <b>Einzugsgebiet der Adda (IV)</b>            |                    |                            |
| 28                                  | Tsidjiore Nouve           | - 21                       | <b>Einzugsgebiet der Reuss (Ib)</b>        |                        |                            | 99  | Cambrena           | - 5,5                      |
| 29                                  | Cheillon                  | - 4,1                      | 66   | Tiefen                 | - 19,5 <sup>2</sup>        | 100   | Palü               | - 18,5                     |
| 30                                  | En Darrey                 | - 0,3                      | 67   | Sankt Anna             | - 16,2 <sup>2</sup>        | 101   | Paradisino (Campo) | n                          |
| 31                                  | Grand Désert              | 3,4                        | 68   | Kehlen                 | - 19                       | 102   | Forno              | - 16                       |
| 32                                  | Mont Fort (Tortin)        | - 42,8 <sup>2</sup>        | 69   | Rotfirn (Nord)         | - 9,6                      | 116   | Albigna            | n                          |
| 33                                  | Tsanfleuron               | - 7                        | 70   | Damma                  | - 6,4                      |   |                    |                            |
| 34                                  | Otemma                    | - 24                       | 71   | Wallenbur              | - 11,3 <sup>2</sup>        | <b>Einzugsgebiet des Tessins (III)</b>        |                    |                            |
| 35                                  | Mont Durand               | - 6                        | 72   | Brunni                 | n                          | 120   | Corno              | 0,7                        |
| 36                                  | Breney                    | - 4                        | 73   | Hüfi                   | - 6,5                      | 117   | Valleggia          | - 3,8 <sup>2</sup>         |
| 37                                  | Giétro                    | - 8,2                      | 74   | Griess                 | 0                          | 118   | Val Torta          | - 6,2                      |
| 38                                  | Corbassière               | - 15                       | 75   | Firnalpeli (Ost)       | - 4 <sup>2</sup>           | 103   | Bresciana          | - 71                       |
| 39                                  | Valsorey                  | - 12                       | 76   | Griessen               | n                          | 119   | Cavagnoli          | - 13,3                     |
| 40                                  | Tseudet                   | 39                         |  |                        |                            | 104   | Basödino           | - 7,4                      |
| 41                                  | Boveyre                   | - 10                       | <b>Einzugsgebiet der Linth/Limmat (Ic)</b> |                        |                            | 121   | Croslina           | - 1,8                      |
| 42                                  | Saleina                   | - 13,4                     | 77   | Biferten               | - 5,9                      | 105   | Rossboden          | - 1,8                      |
| 108                                 | Orny                      | n                          | 78   | Limmern                | n                          |   |                    |                            |
| 43                                  | Trient                    | - 80                       |  |                        |                            |   |                    |                            |

## Abkürzungen:

n = nicht beobachtet  
sn = eingeschneit  
x = Betrag nicht bestimmt

## Bemerkungen

Gilt die Angabe für eine mehr-  
jährige Zeitspanne, ist die Zahl der  
Jahre angezeigt: -11<sup>2</sup> = Schwund  
um 11 m in 2 Jahren.

Fotos: Amt für Lawinenverbau Uri



**Veränderungen  
des Rotfirn:  
Zeitreihe 1953 bis 1999**

**Der Rotfirn, ein Seitengletscher des Chelengletschers (vgl. ALPEN 10/1999), wird seit 1956 beobachtet. Nach anfänglichem Rückzug stiess er zwischen 1965 und 1985 um mehr als 100 Meter vor. Seither zieht er sich wiederum zurück und erreichte letztes Jahr den Stand von 1968.**





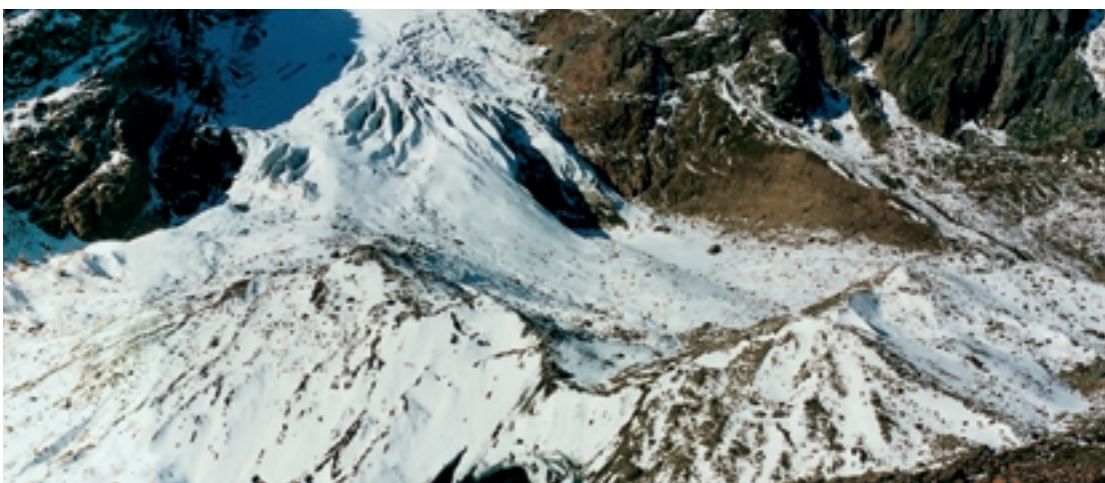
1953



1975



1987

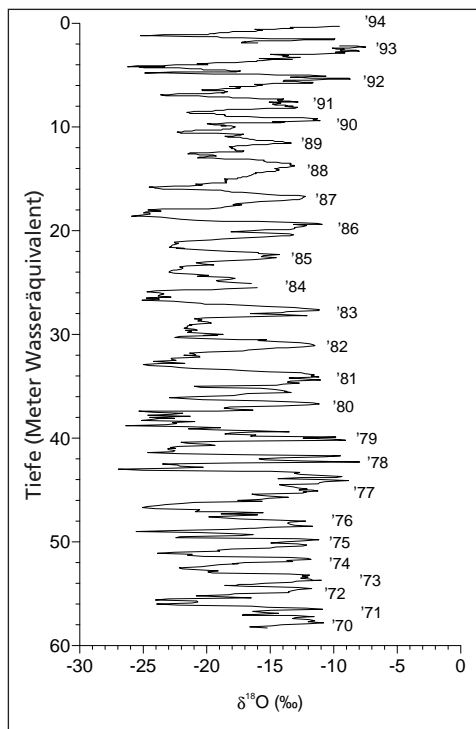


1999



Amerikaner und Russen in den Sechzigerjahren oder des Reaktorunfalls in Tschernobyl 1986. Andere Beispiele sind erhöhte Calcium-Einträge durch dokumentierte Saharastaubereignisse sowie erhöhte Sulfatkonzentrationen als Folge von historisch bekannten Vulkanausbrüchen (Döscher et al., 1995, 1996). Ausserdem kann der aus Messungen im Grönlandeis gut bekannte Verlauf des Gehaltes von Methan in der Atmosphäre, einem bekannten Treibhausgas aus biogenen Emissionsquellen, für eine indirekte Datierung beigezogen werden. Unabhängig von chemischen Methoden haben sich auch rein glaziologische Berechnungen der Tiefen-Alters-Beziehung eines Gletschers für eine ungefähre Datierung bewährt (Wagner, 1996; Lüthi, 2000).

**Figur 5**  
Datierung der oberen 60 m des Grenzgletscher-Eisbohrkerns durch Abzählen der Jahresschichten, wobei man die Tatsache nutzt, dass sich die Schneekristalle von Sommer- und Winterniederschlägen in ihrer Zusammensetzung geringfügig unterscheiden.



Durch Kombination all dieser Methoden konnte beispielsweise für einen Eisbohrkern vom Colle Gnifetti (4450 m ü. M.) eine kontinuierliche Chronologie erstellt werden (vgl. Fig. 6). Allerdings ist die Unsicherheit über das Alter der tiefsten Schicht nahe am Felsbett mit einem Minimalwert von 2000 Jahren und einem Maximalwert von über 10000 Jahren gross. Dies erlaubt die Aussage, dass das älteste Eis am Colle Gnifetti mindestens aus der Römerzeit stammt, evtl. sogar aus der Zeit kurz nach der letzten Eiszeit.

**Schadstoffentwicklung in den Alpen**

*Faktor Industrialisierung*

Alle untersuchten Gletscherarchive zeigen übereinstimmend eine deutliche Zunahme der Konzentrationen verschiedener Schadstoffe im Verlauf des 20. Jahrhunderts (vgl. Fig. 7). Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) wird in der Atmosphäre aus Schwefeldioxid gebildet, das durch Verbrennen von fossilen Brennstoffen wie Kohle und Erdöl entsteht. Der starke Konzentrationsanstieg seit

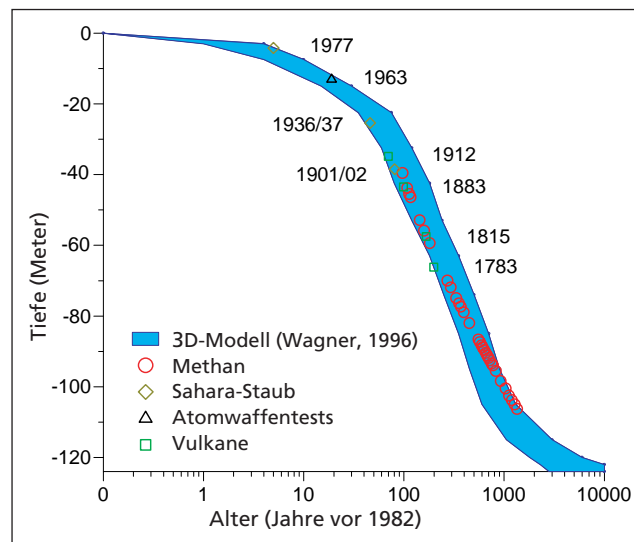
Ende des 19. Jahrhunderts ist auf den zunehmenden Verbrauch dieser Brennstoffe im Zuge der Industrialisierung zurückzuführen (Schwikowski et al., 1999b).

*Faktor Intensivierung von Land- und Viehwirtschaft*

Dies ging einher mit einer Intensivierung der Land- und Viehwirtschaft, der hauptsächlich Emissionsquelle von Ammoniak (NH<sub>3</sub>), das im Gletscher in Form von Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) gespeichert wird (Döscher et al., 1996).

Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) entsteht in der Atmosphäre aus Stickoxiden, die vorwiegend von Kraftfahrzeugen emittiert werden. Die Nitrat-Konzentration steigt erst ab zirka 1940 stark an, in Übereinstimmung mit der gut dokumentierten Verkehrszunahme in dieser Zeitperiode. Russ wird bei der unvollständigen Verbrennung von Kohle, Öl, Diesel und Benzin freigesetzt. Er zeigt daher einen sehr ähnlichen Konzentrationsverlauf wie Sulfat mit einem Anstieg entsprechend dem Verbrauch dieser Energieträger (Lavanchy et al., 1999). Das Schwermetall Blei gelangt durch Bleiverhüttung, Kohleverbrennung und durch die Verwendung von verbleitem Benzin in die Atmosphäre. Die Blei-Konzen-

**Figur 6**  
Tiefen-Alters-Beziehung für einen 124 m langen Eiskern vom Colle Gnifetti, der bis auf das Felsbett gebohrt wurde, mit Angabe der verwendeten Datiermethoden.



trationen zeigen bereits im 19. Jahrhundert einen merklichen Anstieg auf Grund der intensiven Bergbautätigkeit. Die bis Anfang 20. Jahrhundert zunehmenden Blei-Konzentrationen widerspiegeln die zusätzlichen Emissionen aus der Kohleverbrennung; sie nehmen aber mit der Weltwirtschaftskrise und dem 2. Weltkrieg vorübergehend ab. Die extreme Zunahme der Blei-Konzentrationen zwischen 1945 und 1970 ist auf den vermehrten Verbrauch von verbleitem Benzin zurückzuführen.

#### Faktor Chlor- und Fluorwasserstoffe

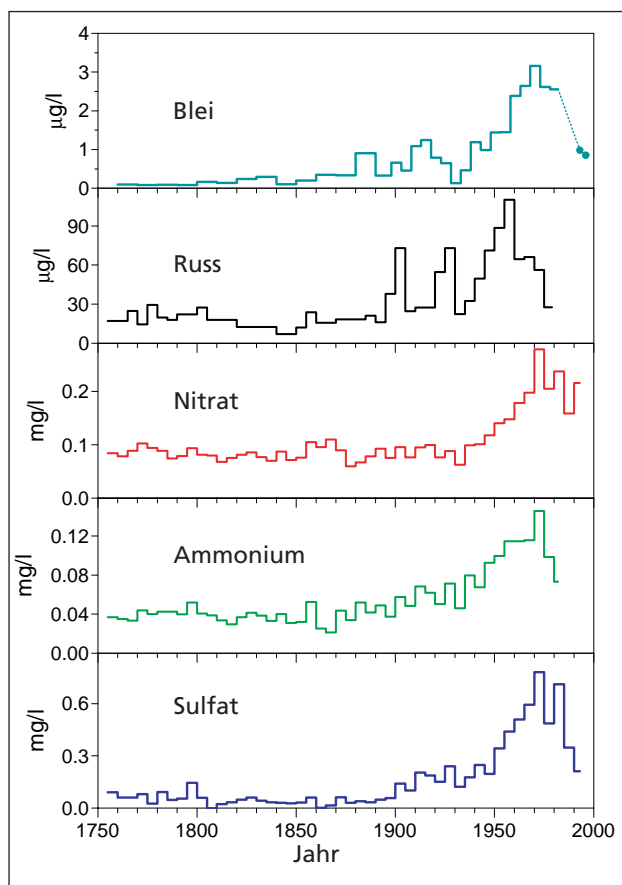
Die Emissionen zweier weiterer Schadstoffe – Chlor- und Fluorwasserstoff – sind ebenfalls deutlich in den Chlorid- und Fluoridkonzentrationen im Gletschereis dokumentiert. Chlorwasserstoff stammt hauptsächlich aus Kehrichtverbrennungsanlagen (PVC-Verbrennung), während Fluor-

wasserstoff von der Aluminiumindustrie emittiert wird. Die gute Übereinstimmung der Konzentrationen im Gletschereis mit den Emissionsabschätzungen für die Schweiz deutet daraufhin, dass im Fall dieser beiden Schadstoffe die Verursacher in der Schweiz zu suchen sind (vgl. Fig. 8).

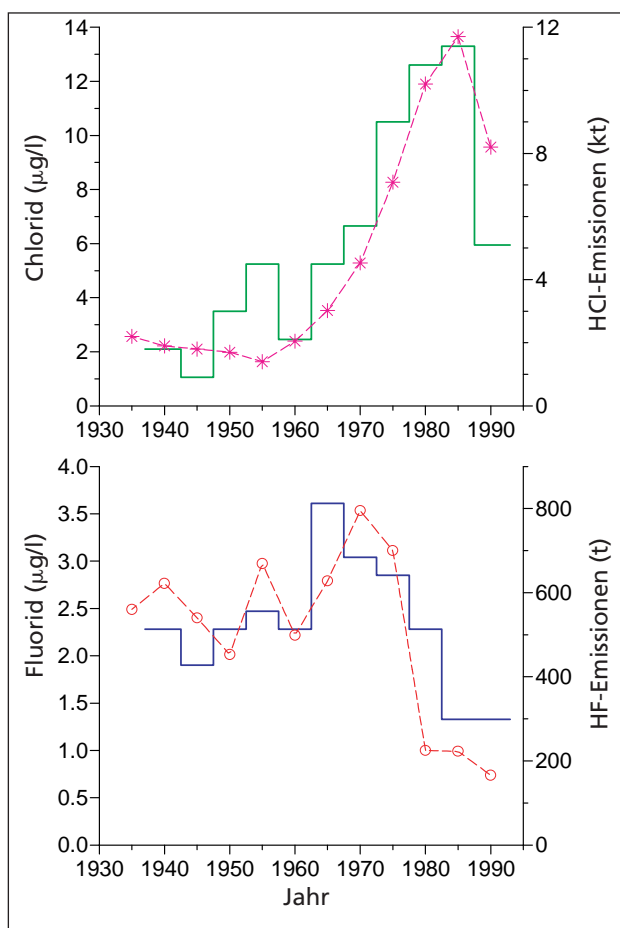
#### Luftreinhaltemassnahmen zeigen Wirkung

Erfreulicherweise dokumentieren die Alpengletscher auch die Fortschritte im Umweltschutz. Alle diskutierten Schadstoffe zeigen seit ungefähr 1970 einen klaren Trend zu geringeren Konzentrationen. Dies ist

die Konsequenz aus unterschiedlichen Luftreinhaltemassnahmen wie Einsatz von Filteranlagen in Kraftwerken, in Kehrichtverbrennungsanlagen und in der Aluminiumindustrie, die zunehmende Verwendung schwefelärmerer Öle sowie die Einführung von Katalysatoren und von bleifreiem Benzin. Inzwischen ist dank diesen Massnahmen die Konzentration der meisten Schadstoffe bereits wieder auf das Niveau von etwa 1940/50 gesunken.



**Figur 7**  
Fünfjahresmittelwerte der Sulfat-, Nitrat-, Ammonium-, Blei- und Russkonzentrationen (zusammengesetzt aus Eisbohrkerndaten vom Colle Gnifetti, vom Grenzletscher und vom Fiescherhorn).



**Figur 8**  
Fünfjahresmittelwerte von – nicht auf den Eintrag von Meersalz zurückzuführen – Chlorid- und Fluoridkonzentrationen im Grenzletscher-Bohrkern im Vergleich zu den Emissionsabschätzungen von Chlor- und Fluorwasserstoff der Schweiz (BUWAL, 1995).

Eisbohrer im Bohrzelt während einer Bohrkampagne auf dem Fiescherhorn-Plateau



Foto: Patrick Gino



Errichten des Bohrcamps in 4200 m Höhe auf dem Grenzletscher; im Hintergrund Lyskamm, Matterhorn und Dent d'Herens

*Auch ausseralpine Untersuchungen*

Zurzeit werden die für die Alpengletscher entwickelten Methoden zur Rekonstruktion der Geschichte der Luftverschmutzung auch auf andere Hochgebirgsgletscher angewendet. So wurden kürzlich zwei Gletscherbohrungen in den südamerikanischen Anden durchgeführt, auf dem 5550 m hohen Cerro Tapado in Chile sowie dem 6400 m ü. M. hohen Illimani in Bolivien. Mit diesen Arbeiten sollen die dortigen Schadstoffkonzentrationen untersucht und die Intensität und Häufigkeit des Klimaphänomens El Niño früherer Zeiten studiert werden. Ausserdem wurden im Sommer 2000 erste Probebohrungen auf dem 4500 m ü. M. hohen Belucha, dem höchsten Gipfel des in Sibirien gelegenen Altai-Gebirges, durchgeführt. Hier interessiert die historische Entwicklung der Atmosphärenzusammensetzung des «Hinterhofs» Europas, einer bisher noch wenig untersuchten Gegend unserer Erde.

*Martin Hoelzle<sup>2,3,4</sup>*

*Daniel Vonder Mühl<sup>2,3</sup>*

*Margit Schwikowski<sup>5</sup>*

*und Heinz W. Gäggeler<sup>2,5,6</sup>*



Foto: Patrick Gino

Zersägen und Verpacken der Eisbohrkerne auf dem Cerro Tapado in den chilenischen Anden

<sup>2</sup> Glaziologische Kommission der SANW

<sup>3</sup> Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich

<sup>4</sup> Geographisches Institut der Universität Zürich

<sup>5</sup> Paul Scherrer Institut Villigen

<sup>6</sup> Departement für Chemie und Biochemie der Universität Bern



Foto: Annette Döschner



Foto: Patrick Gino

## Literatur

- Blunier T., Chapellaz J., Schwander J., Stauffer B. and Raynaud D. (1995): Variations in atmospheric methane concentration during Holocene epoch. *Nature*, 374, 46–49.
- BUWAL, (1995): Vom Menschen verursachte Luftschadstoff-Emissionen in der Schweiz von 1900–2010, *Schriftenreihe Umweltschutz*, 256, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Döschner A., Gäggeler H., Schotterer U. and Schwikowski M. (1995): A 130 years deposition record of sulphate, nitrate and chlorid from a high alpine glacier. *Water, Air and Soil Pollution*, 85, 603–609.
- Döschner A., Gäggeler H., Schotterer U. and Schwikowski, M. (1996): A historical record of ammonium concentrations from a glacier in the Alps. *Geophysical Research Letters*, 23, 2741–2744.
- Funk, M. (1994): Possible Alpine ice-core drilling sites, an overview. In: *Proceedings EPC workshop on Greenhouse Gases, Isotopes and Trace Elements in Glaciers as Climate Evidence for Holocene* edited by W. Haeberli and B. Stauffer, Zürich, 27/28 October 1992, 40–44.
- Gäggeler H., von Gunten H. R., Rössler E., Oeschger H. and Schotterer U. (1983): <sup>210</sup>Pb-Dating of cold alpine firn/ice cores from Colle Gnifetti, Switzerland. *Journal of Glaciology*, 29, 165–177.
- Haeberli W., Schmid W. and Wagenbach D. (1988): On the geometry, flow, and age of firn and ice at the Colle Gnifetti core drilling site (Monte Rosa, Swiss Alps). *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 24, 1–19.
- Haeberli W. and Funk M. (1991): Borehole temperatures at the Colle Gnifetti core drilling site (Monte Rosa, Swiss Alps). *Journal of Glaciology*, 37 (125), 37–46.
- Kappenberger G. and Aellen M. (1998): The Basòdino glacier (Ticino, Switzerland) and its varia-

## Gletscher auf dem 5550 m ü. M. hohen Cerro Tapado in Nord-Chile

- tions. *Convegno Internazionale di Meteorologia Alpina*, (CIMA-ITAM), Torino, 9, 163–166.
- Lavanchy V. M. H., Gäggeler H. W., Schotterer U., Schwikowski M. and Baltensperger U. (1999): Historical record of carbonaceous particle concentrations from European high-alpine glacier (Colle Gnifetti, Switzerland). *Journal of Geophysical Research*, 104, 21227–21236.
- Oeschger H., Schotterer U., Stauffer B., Haeberli W., Rötthlisberger H. (1977): First results from alpine core drilling projects. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 13, 193–208.
- Schwikowski, M. (1997): Analytical chemistry in high-alpine environmental research. *Chimia*, 51, 786–789.
- Schwikowski M., Brütsch S., Gäggeler H. W. and Schotterer U. (1999a): A high resolution air chemistry record from an Alpine ice core (Fiescherhorn glacier, Swiss Alps). *Journal of Geophysical Research*, 104, 13709–13720.
- Schwikowski M., Döschner A., Gäggeler H. W. and Schotterer U. (1999b): Anthropogenic versus natural sources of atmospheric sulphate from an Alpine ice core. *Tellus B*, 51, 938–951.
- Wagenbach D., Münnich K. O., Schotterer U., Schwikowski M. (1988): The anthropogenic impact on snow chemistry at Colle Gnifetti, Swiss Alps. *Annals of Glaciology*, 10, 183–187.
- Wagner S. (1996): Dreidimensionale Modellierung zweier Gletscher und Deformationsanalyse von eisreichem Permafrost. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 146, 135.
- Lüthi M. P. (2000): Rheology of cold firn and dynamics of polythermal ice stream. Studies on Colle Gnifetti and Jakobshavns Isbrae. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 165, 212.

Alpine Geschichte,  
Kultur, Erzählungen

Storia, cultura,  
letteratura alpina

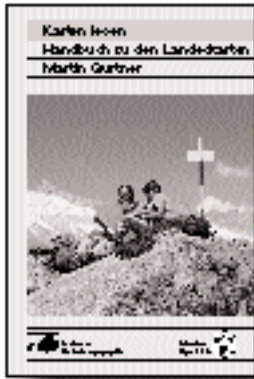
Histoire, culture  
et littérature alpines

## Alpiner Film in Autrans

Vom 6. bis 10. Dezember findet in Autrans (Frankreich) zum 17. Mal das Internationale Berg- und Abenteuerfilmfestival statt. Es werden Spiel- und Dokumentarfilme aus fünf Kontinenten zu den verschiedensten Themen präsentiert. Neben Natur- und ethnologischen Filmen werden auch Dokumentationen von besonderen sportlichen Leistungen zu sehen sein. In diesem Jahr steht das Festival unter dem Zeichen des 30-Jahr-Jubiläums des Parc Naturel Régional du Vercors. Eine Ausstellung zeichnet die Geschichte dieses Parks nach. Gleichzeitig finden die Deuxièmes Journées Européennes de la Montagne statt.

Gem. Mtlg. (ü) ■

**SAC-BUCH!**  
*muss ich haben!*



308 Seiten, 52 Kartenausschnitte,  
62 Fotos, 67 Zeichnungen

Art.-Nr. 137-0  
SAC-Mitgliederpreis Fr. 29.-  
Ladenpreis Fr. 38.-

Bestellungen an:  
SAC-Buchauslieferung  
Postfach 134, 7004 Chur  
Tel. 081 258 33 35  
Fax 081 250 26 66  
E-Mail: bbv@casanova.ch  
www.sac-verlag.ch

