

Die Gletscher der Schweizer Alpen 2001/02 und 2002/03¹

Im 123. und 124. Berichtsjahr der Glaziologischen Kommission bürsteten die Schweizer Gletscher weiter an Länge und Masse ein. Die sich global abzeichnende Klimaveränderung mit einer deutlichen Erwärmung, aber auch die herrschende Witterung während der Messperioden, hinterliessen eindeutige Spuren. Im Anhang wird etwas näher auf den Rekordhitzesommer 2003 eingegangen.

Die Verhältnisse während der beiden abgelaufenen Berichtsjahre weisen einmal mehr auf die Bedeutung der Gletscher hin. Die globalen Erwärmungstendenzen zeigen auch regional ihre Auswirkungen, sodass sich die Gletscher in den Schweizer Alpen nach wie vor und unvermindert zurückziehen. Diesem allgemeinen und längerfristigen Trend vermögen auch die kurzfristig durch die normale Variabilität des Klimas verursachten Schwankungen in einzelnen Jahren

Tabelle 1: Titel der Witterungsberichte der MeteoSchweiz
Oktober 2001 bis September 2003

2001	In den Niederungen warm und recht sonnig, auf der Alpennordseite nass
Oktober	Rekordwärme und im Norden viel Sonne, Trockenheit im Wallis
November	Grosse Trockenheit auf der Alpensüdseite, frühwinterlich kalt im Norden
Dezember	Massiver Kälteeinbruch – extreme Trockenheit auf der Alpensüdseite
2002	Sehr warm und nass – extreme Niederschläge im Süden und in Graubünden
Januar	Erst kleine Seegfröni – dann sehr warm, Alpensüdseite extrem trocken
Februar	Extrem mild – im Norden wechselhaft und windig, im Süden sonnig
März	Sehr mild und viel Sonne – Trockenheit im Süden
April	Mild, im Norden sonnig und im Westen und Süden sehr trocken
Mai	Wechselhaft und nass – extreme Regenfälle im Süden und im Unterland
Juni	Sonnig, extrem warm, rekordverdächtige Hitzeperiode
Juli	Sehr wechselhaft; gebietsweise grosse Regenfälle zur Monatsmitte
August	Wechselhaft, verbreitet überdurchschnittliche Regenmengen, lokal heftige Unwetter
September	Kühl, sonnenarm, viel Regen in der Deutschschweiz – extremer Wintereinbruch
Oktober	Wechselhaft, im Norden nass mit ersten Herbststürmen
November	Mild, extreme Niederschläge, Unwetter in Graubünden und im Tessin
Dezember	Im Flachland extrem mild und sehr sonnenarm – in den Bergen oft recht sonnig
2003	Extrem warm, sonnig und niederschlagsarm – Rekordsommer
Januar	Stark wechselnder Wettercharakter – im Süden zu trocken
Februar	Kalt, teils sehr trocken und in den Alpen sehr sonnig – Wintereinbruch im Norden
März	Mild und extrem sonnig – sehr wenig Niederschlag vor allem im Südosten
April	Warm, sehr sonnig und im Osten und Süden trocken, sehr kalte Nacht zum 8. April
Mai	Sehr warmer Beginn, erste schwere Hagelschläge – Rekordwärme im Süden
Juni	Heissester Juni seit Menschengedenken – extrem sonnig, sehr trocken
Juli	Kühler Beginn, dann grosse Trockenheit und Hitze – ab Monatsmitte viele Gewitter
August	Neue Rekordtemperaturen – heissester Sommer seit dem 16. Jahrhundert
September	Wenig Regen, vor allem in der Deutschschweiz sonnig – Spätsommer ab Monatsmitte

Quelle: MeteoSchweiz

nichts entgegenzusetzen. Nicht ohne Grund gelten die Gletscher als eines der besten Instrumente, um Veränderungen des Klimas zu erkennen. Sie widerspiegeln nicht nur die langfristigen Tendenzen, sondern vermögen auch direkt die oft unterschätzten grossen Fluktuationen von Jahr zu Jahr aufzuzeigen. Während die vergletscherte Fläche und die Gletscherlängen eher die langfristigen Signale

¹ Auszug aus dem 123. und 124. Bericht der Glaziologischen Kommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (GK/SANW) und der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW/ETHZ). Gemäss Beschluss der zuständigen Stellen wird der Gletscherbericht alternierend mit den Ergebnissen des Permafrost Monitoring Switzerland PERMOS in den ALPEN publiziert.



wiedergeben, stehen der Schneezuwachs (Niederschlag) und der Eisabtrag (Schmelze) in direkter Beziehung zu den aktuellen klimatischen Verhältnissen in der Messperiode. Deshalb sind die zum Teil seit über hundert Jahren jährlich durchgeführten Erhebungen an den Schweizer Gletschern ein unschätzbare Hilfsmittel. Die inzwischen vorhandenen Messreihen gehören weltweit zu den längsten und vollständigsten.

Der warme und trockene Sommer 2003 hat mancherorts die Bedeutung der Gletscher als Wasserspeicher in Erinnerung gerufen. Die wasserwirtschaftliche Nutzung dieses Reservoirs beschränkt sich nicht nur auf die Energiegewinnung, sondern gewährleistet insbesondere auch die Bewässerung und Trinkwasserversorgung. Während der heissen und niederschlagsarmen Sommermonate trat in den Schweizer Alpen keine ernsthafte Wasserknappheit auf – eine Folge verstärkter Schmelze.

Witterung und Klima in der Schweiz

Überblick über die hydrologischen Jahre 2001/02 und 2002/03

Weltweit zählten die beiden Jahre 2001 und 2002 einmal mehr zu den wärmsten seit Beginn der instrumentellen Messungen um 1860. Das globale Mittel der Temperatur an der Erdoberfläche übertraf den langjährigen Mittelwert 1961–1990 um $+0,48\text{ }^{\circ}\text{C}$ bzw. $+0,45\text{ }^{\circ}\text{C}$

(WMO, 2003). Damit verbleibt 1998 mit $+0,55\text{ }^{\circ}\text{C}$ noch immer das wärmste Jahr. Die Zahl klimatischer Extremverhältnisse wie Dürren, Überschwemmungen und Wirbelstürme lag erneut über dem Durchschnitt. Die Ausdehnung der Schneedecke auf der Nordhemisphäre war 2003 in den vorhandenen Aufzeichnungen am zweitgrössten. Im Gegensatz dazu war die jeweils im September aufgenommene Ausdehnung des Meereises auf den arktischen Meeren in den beiden Jahren 2002 und 2003 so gering wie noch nie seit Beginn der satellitengestützten Messungen 1978.

Auch in der Schweiz waren die beiden Berichtsjahre warm. Besonders das zweite geht als überwiegend niederschlagsarm in die Statistik ein.

Hydrologisches Jahr 2001/02

In der ersten Berichtsperiode – dem hydrologischen Jahr 2001/02 – setzte der Winter nach einem warmen Oktober vorerst im November im Norden und anschliessend im Dezember auch im Süden ein. Die Kälte hielt bis Mitte Januar an und führte zu einer kleinen Seegfröni. Der Winter war nur von kurzer Dauer. Es folgte eine sehr warme erste Jahreshälfte, die auf der Alpensüdseite zwischen Ende Oktober 2001 und Anfang

Datenzugriff

Viele der hier vorgestellten Messresultate sowie die langjährigen Datensätze sind auf der Internetseite des Schweizerischen Gletschermessnetzes www.glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers/ frei zugänglich. Neben den regelmässig erscheinenden Berichten und Medienmitteilungen finden sich auf diesen Seiten weitere Informationen und Analysen. Die neu eintreffenden Resultate werden laufend aktualisiert.

Februar 2002 von einer längeren Trockenperiode begleitet war. Im April und den ersten Maitagen wurden das Tessin, Urnerland und Teile des Bündner Oberlands von Unwettern mit Extremniederschlägen heimgesucht. Das hydrologische Jahr 2001/02 endete mit einem ungewöhnlich massiven Wintereinbruch Ende September.

Hydrologisches Jahr 2002/03

Die zweite Periode, 2002/03, begann mit einem sonnenarmen und nassen Frühwinter. Abermals lösten Starkniederschläge in den Kantonen Graubünden, Uri und Tessin Unwetter aus. Auf ein extrem mildes Jahresende folgte eine kalte erste Januarhälfte. Der Winter kehrte Anfang Februar mit ergiebigen Schneefällen und anschliessender Kälteperiode

Dammagletscher 2003: Das schuttbedeckte Gletscherende verliert an der Steilstufe den Kontakt zum Einzugsgebiet.



vollends ein. Bereits ab der ersten Mäzhälfte herrschten dann fröhsommerliche Bedingungen. Nach einem kurzfristigen Unterbruch Anfang April durch einen Kaltlufteinbruch wurden in den letzten Apriltagen schon erste Sommertage – Temperatur über 25° – verzeichnet. Der Sommer 2003 übertraf mit neuen Hitzerekorden die bisher heissesten Sommer 1947 und 1994 deutlich. Der Alpenraum stand überwiegend unter Hochdruckeinfluss, was eine grosse Trockenheit und extrem hohe Besonnung zur Folge hatte. Es gab kaum Unwetter mit Ausnahme kleinräumiger Hagelgewitter Anfang Mai auf der Alpennordseite und Starkniederschlägen Ende August im Tessin. Einige Polarlufteinbrüche Ende August führten zu einem rasanten Temperaturrückgang und brachten das Sommerende.

In den für die Betrachtungen der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse verwendeten Grafiken sind die Abweichungen von den Normalwerten dargestellt. Normalwerte sind langjährige Durchschnittswerte zur Beschreibung des «normalen» Klimas. Die seit 2001 allgemein verwendete, international standardisierte 30-Jahr-Periode 1961–1990 ersetzt ab diesem Bericht jene von 1901–1960 aus früheren Berichten.

Temperatur

Einmal mehr überwog in den beiden Berichtsperioden die Anzahl der Monate mit überdurchschnittlich hohen Temperaturen. Oktober, Januar, Februar, März, Mai und Juni in der Periode 2001/02

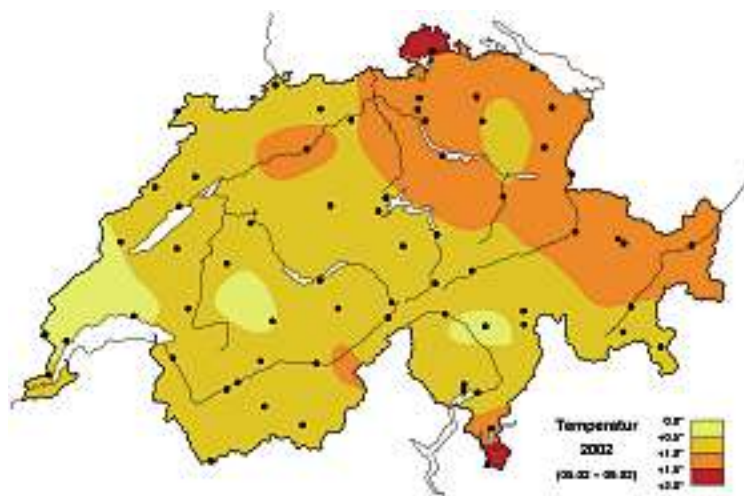


beziehungsweise November, Dezember, März, April, Mai, Juni, Juli und August in 2002/03 waren deutlich wärmer als im langjährigen Durchschnitt. Deutlich kälter fielen die Monate Dezember und September in der ersten und einzig der Februar in der zweiten Periode aus. Wieder hat sich der Trend der vergangenen Jahre mit höheren durchschnittlichen Jahrestemperaturen weiter fortgesetzt. Während der für die Schneeschmelze (Mai und Juni) und Ausaperung (Juli bis September) bedeutungsvollen, strahlungsintensiven Sommermonate lagen die Werte in den Alpen 2002 um 1 °C

und 2003 zwischen 3 und 4 °C über dem Durchschnitt. Nach den bereits überaus warmen Sommern 2000 und 2002 stiegen die Temperaturen 2003 in bisher kaum für möglich gehaltene Bereiche an.

Niederschlag

Im ersten Berichtsjahr fiel der Niederschlag leicht unterdurchschnittlich aus, während im folgenden Jahr in weiten Teilen des Landes extrem geringe Niederschlagsmengen zu verzeichnen waren.



Sommertemperatur 2002 (Mittelwert über die Periode 1.5.–30.9.2002): Abweichung vom Normalwert (langjährigen Mittelwert 1961 bis 1990) in Grad Celsius



Jahresniederschlag 2001/02 (Summe 1.10.2001–30.9.2002): Abweichung vom Normalwert (langjährigen Mittelwert 1961 bis 1990) in Prozent



Glacier du Mont Durand (v. l.) 1983, 1993 und 2003: Anfang der 1990er-Jahre wurde ein Vorstoss verzeichnet, es folgte eine Periode ohne grosse Verände-

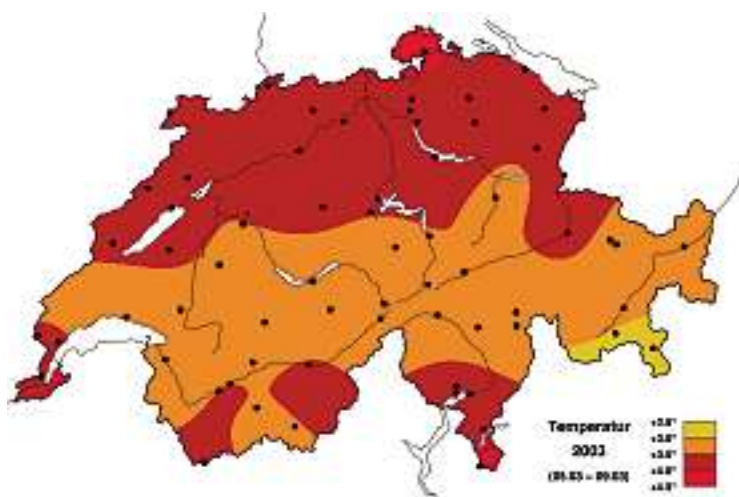
rung, bevor sich die Zunge 2002/03 stark zurückbildete. Die zwischenzeitlich verschwundene Felsinsel (roter Pfeil) an der Zunge tritt wieder hervor.



Im hydrologischen Jahr 2001/02 erhielten nur die Gebiete am zentralen und östlichen Alpennordhang leichte Überschüsse. Gesamtschweizerisch war einzig der Mai überdurchschnittlich nass, Dezember, Januar und April hingegen waren zu trocken. Die Abweichungen von den Normalwerten bewegten sich zwischen 60% im Süden und 110% im Norden. Vielerorts waren einige wenige Starkniederschläge für die Jahressummen verantwortlich. In den südöstlichen Gebieten der Schweizer Alpen herrschte von Ende Oktober bis Anfang Februar eine über 100 Tage dauernde Trockenperiode mit grosser Schneearmut.

Die Periode 2002/03 gehörte in den meisten Landesteilen zu den zehn niederschlagsärmsten seit 1901. Ein in allen Regionen der Schweiz überdurchschnittlich nasser November stand den zu trockenen Monaten Februar, März, April, Mai, Juni und August gegenüber. Zwischen Februar und Juni war es extrem trocken. Die Trockenheit wurde im

Sommer durch die grosse Hitze zusätzlich verschärft. Auch die Rekordstau-niederschläge von Mitte November konnten das entstandene Defizit nicht verhindern. Die Jahressummen erreichten deshalb in weiten Teilen der Schweiz nur 70 bis 85%, im Oberwallis, Tessin und in Südbünden sogar nur bis 50% der Normalwerte.



Sommertemperatur 2003 (Mittelwert über die Periode 15.-30.9.2003): Abweichung vom Normalwert (langjährigen Mittelwert 1961 bis 1990) in Grad Celsius

Jahresniederschlag 2002/03 (Summe 1.10.2002-30.9.2003): Abweichung vom Normalwert (langjährigen Mittelwert 1961 bis 1990) in Prozent



Tabelle 2: Längenänderung der Gletscher in den Schweizer Alpen 2001/02 und 2002/03

Nr.	Gletscher	Kt.	Längen- änderung 2001/02 (m)	Längen- änderung 2002/03 (m)	Nr.	Gletscher	Kt.	Längen- änderung 2001/02 (m)	Längen- änderung 2002/03 (m)
Einzugsgebiet der Rhone					Einzugsgebiet der Reuss				
1	Rhone	VS	-11,1	-2,0	66	Tiefen	UR	-15,3	-22,1
2	Mutt	VS	-2,2	-7,6	67	Sankt Anna	UR	-7,8 ²	-17,9
3	Gries	VS	-26,4	-29,9	68	Kehlen	UR	-23,4	-24,1
4	Fiescher	VS	n	x	69	Rotfirn (Nord)	UR	-9,2	-41,1
5	Grosser Aletsch	VS	-57,0	-28,4	70	Damma	UR	-16,8	-10,7
6	Oberaletsch	VS	n	-25,7 ²	71	Wallenbur	UR	-4,8	-6,2
7	Kaltwasser	VS	-19,0	-16,9	72	Brunni	UR	n	-7,2 ⁶
10	Schwarzberg	VS	-15	-12	73	Hüfi	UR	-19,0	-61,5
11	Allalin	VS	-8,8	-5,3	74	Griess	UR	-5,2	-14,6
12	Kessjen	VS	-3,5	-15,5	75	Frinalpeli (Ost)	OW	st ²	-14
13	Fee (Nord)	VS	-65,1	-32,7	76	Griessen	OW	+1,2	-11,3
14	Gorner	VS	-6,2	-16	Einzugsgebiet der Linth/Limmat				
16	Findelen	VS	-118,1 ²	-21,1	77	Biferten	GL	-5,5	-15,9
17	Ried	VS	n	-49,7 ²	78	Limmern	GL	-6,2	-5,5
18	Lang	VS	-23,7	-16,3	114	Plattalva	GL	-8,5	-22
19	Turtmann	VS	-9,6	-126,9	79	Sulz	GL	n	-16,5 ²
20	Brunegg (Turtmann)	VS	-30,5	-156,9	80	Glärnisch	GL	-2,6	-14,9
21	Bella Tola	VS	-4,9	-10,0	81	Pizol	SG	-41,1 ²	-29,6
22	Zinal	VS	-4	-4,3	Einzugsgebiet des Rheins				
23	Moming	VS	x	n	82	Lavaz	GR	x	x
24	Moiry	VS	-18,5	-21	83	Punteglias	GR	n	-10 ²
25	Ferpècle	VS	-15	-20	84	Lenta	GR	-19,4	-9,8
26	Mont Miné	VS	-61	-32	85	Vorab	GR	n	-39,9 ³
27	Arolla (Mont Collon)	VS	-24	-10	86	Paradies	GR	-3,9	-10,5
28	Tsidjiore Nouve	VS	-52	-33	87	Suretta	GR	-93,8	-8,2
29	Cheillon	VS	-5,7	x	115	Scaletta	GR	x	-15,5,3
30	En Darrey	VS	st	-8	88	Porchabella	GR	n	-32 ²
31	Grand Désert	VS	-30,6	-72	89	Verstankla	GR	-24	-22
32	Mont Fort (Tortin)	VS	n	-34,8 ²	90	Silvretta	GR	-10,9 ²	-6,6
33	Tsanfleuron	VS	-75	-13,5	91	Sardona	SG	st ²	-22,2
34	Otemma	VS	-29,2	-107,0	Einzugsgebiet des Inns				
35	Mont Durand	VS	+6,2	-26,1	92	Roseg	GR	-4,1	-53,5
36	Breney	VS	-40,1	-108,3	93	Tschierva	GR	-55,2	-48,8
37	Giétro	VS	-7,0	-4,8	94	Morteratsch	GR	-30,2	-76,5
38	Corbassière	VS	-11,0	-34,3	95	Calderas	GR	-8,6	-44,8
39	Valsorey	VS	n	-51 ²	96	Tiatscha	GR	-21,5	-15
40	Tseudet	VS	n	-30,5 ²	97	Sesvenna	GR	n	-74,1 ²
41	Boveyre	VS	n	-30 ²	98	Lischana	GR	-27,7	-52,2
42	Saleina	VS	-14	-51,7	Einzugsgebiet der Adda				
43	Trient	VS	-35	-50	99	Cambrena	GR	-14	-17
44	Paneyrosse	VD	n	2,2 ²	100	Palü	GR	-28	x
45	Grand Plan Nèvé	VD	n	-12,5 ²	101	Paradisino (Campo)	GR	-6,5	-5,2
46	Martinetts	VD	n	n	102	Forno	GR	-23,4	-25,6
47	Sex Rouge	VD	-5,5	-6,4	Einzugsgebiet des Tessin				
48	Prapio	VD	st	-4	120	Corno	TI	-1,5	-56,3
Einzugsgebiet der Aare					117	Valleggia	TI	-1,8	-7,5
50	Oberaar	BE	x	x	118	Val Torta	TI	-1,7	-4,8
51	Unteraar	BE	x	x	103	Bresciana	TI	-18,8	-77,1
52	Gauli	BE	-55 ²	-27	119	Cavagnoli	TI	-11,7	-20,3
53	Stein	BE	-18	-27	104	Basöddino	TI	-16,1	-18,3
54	Steinlimmi	BE	-18	-34,5	352	Croslina	TI	-2,4	-8,4
55	Trift (Gadmen)	BE	-89,3	-152,1	105	Rossboden	VS	st	n
57	Oberer Grindelwald	BE	x	x					
58	Unterer Grindelwald	BE	x	x					
59	Eiger	BE	-20,8	-11,6					
60	Tschingel	BE	-9,3 ²	-7,8					
61	Gamchi	BE	-14,4	-21,4					
109	Alpetli (Kanderfirn)	BE	-41,0	-33					
62	Schwarz	VS	-6,4	-1,2					
63	Lämmern	VS	-9,4	-11,5					
64	Blüemlisalp	BE	-10,8	-46,7					

Abkürzungen
n = nicht beobachtet
x = Betrag nicht bestimmt
st = stationär (+/- 1 m)

Bemerkung:
Gilt die Angabe für eine mehrjährige Zeitspanne, so zeigt die hochgestellte Zahl die Anzahl der Jahre an: -25,7² = Schwund um 25,7 m in 2 Jahren

Sonnenschein

Die Sonnenscheindauer bewegte sich in der ersten Berichtsperiode im normalen Bereich, während in der darauf folgenden Periode sehr überdurchschnittliche Werte verzeichnet wurden.

In der Jahresperiode 2001/02 waren Februar, August und September sonnenarm. In den Monaten Oktober, Dezember, Januar, März, April und Juni wurden überdurchschnittliche Besonnungswerte erzielt, wobei der Juni wegen der grossen Tageslängen stundenmässig den grössten Anteil leistete. In den Alpen fiel die Besonnung generell geringer aus.

In der zweiten Berichtsperiode standen die verbreitet defizitären Monate November und Dezember den sonnenreichen Monaten Februar, März, April und Juni gegenüber, wobei März und Juni sehr extrem waren. In den Alpen entwickelten sich während der heissen Sommermonate häufiger Quellwolken, sodass die Überschüsse etwas weniger hoch ausfielen. In vielen Gegenden war es das sonnigste Jahr seit Beginn der Messreihen in den 1880er-Jahren, in den übrigen zumindest seit 1949.

Längenänderung

Übersicht

Die Schweizer Gletscher büssten in den beiden Beobachtungsjahren 2001/02 und 2002/03 weiterhin deutlich an Länge ein. Bei den Erhebungen im Herbst 2002 konnten von den rund 110 aktiv

Vadret Tiatscha im Jahr 1995



Fotos: Archiv WAW/Stadler

Übersicht über die Längenänderungen der Gletscher in den Schweizer Alpen in den Messperioden 2001/02



Übersicht über die Längenänderungen der Gletscher in den Schweizer Alpen in den Messperioden 2002/03

beobachteten Gletschern 92 Gletscherzungen besucht und für 85 eine Längenänderung bestimmt werden. Während sich die grosse Mehrheit von 78 Gletschern zurückzog, verhielten sich deren fünf stationär (= +/- 1 m), und nur gerade zwei Zungen stiessen vor. Die registrierten Maximalbeträge zeigten einen geringen Vorstoss von +6 m am Glacier du Mont Durand und einen Rückzug von -94 m am Surettagletscher – der Rückzug von -118 m am Findelengletscher bezieht sich auf eine zweijährige Beobachtungsspanne.

Im Herbst 2003 konnten nicht zuletzt dank den herrschenden optimalen Messbedingungen mit der guten Ausaperung sogar 108 Gletscherzungen be-

sucht und für 98 eine Längenänderung ermittelt werden. Alle beobachteten Gletscher verzeichneten einen Längenschwund. Die registrierten Rückzugswerte reichen von rund -1 m am Schwarzgletscher bis zu beträchtlichen -152 m am Triftgletscher sowie -159 m am Bruneggletscher.

In beiden Perioden lag die Mehrheit der Messwerte zwischen 0 und -30 m. Abgesehen von den maximalen Rückzugswerten waren jeweils wenig grössere Schwundwerte zu verzeichnen, was

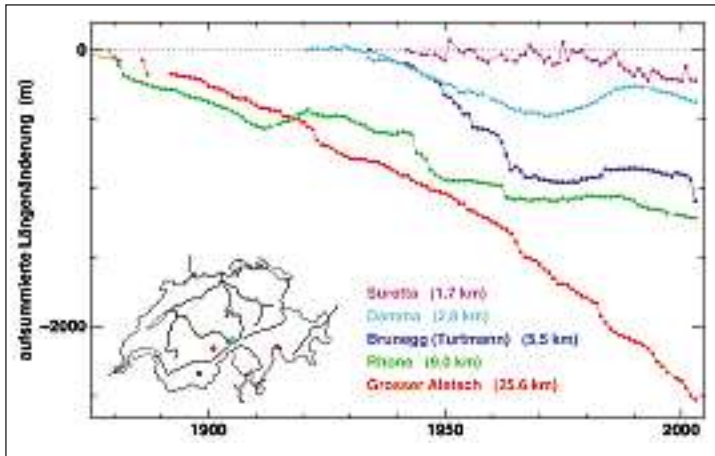
meist auf lokale Effekte zurückzuführen ist, wie die folgenden Beispiel zeigen.

Abschmelzen von Altschneerücklagen

Beim Surettagletscher wurde in der Periode 2000/01 ein ausserordentlich grosser Vorstoss gemessen, weshalb der grössere Schwundbetrag ein Jahr später nicht erstaunte. Der positive Messwert der vorangegangenen Periode war durch mehrjährige, verfirnte Altschneerücklagen an der Gletscherzunge zu Stande

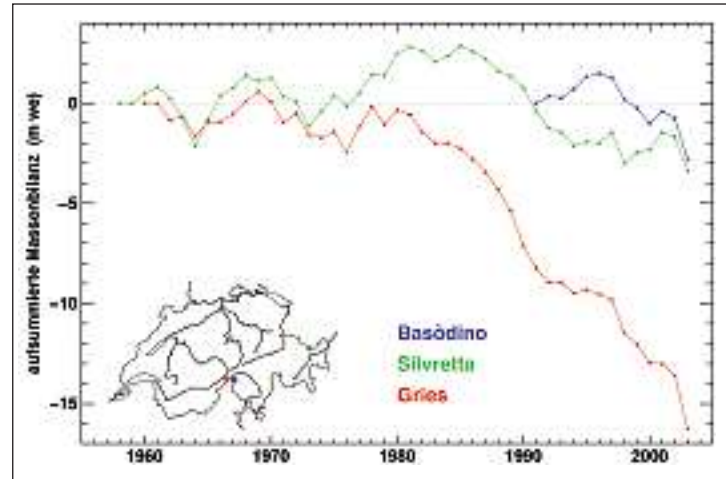


Vadret Tiatscha im Jahr 2003: Der Gletscher hat sich über die Steilstufe zurückgezogen.



Aufsummierte jährliche Längenänderungen (in m) für fünf ausgewählte Gletscher des Messnetzes mit unterschiedlichem Reaktions- und Anpassungsverhalten an das Klima

Aufsummierte mittlere jährliche Massenbilanz (in m Wasseräquivalenten) von den Gletschern Basòdino, Gries und Silvretta



gekommen, nachdem diese während mehrerer Jahre nie mehr ausgeapert war. Wie sich jedoch zeigte, schmolzen die direkt an der Zunge akkumulierten Eismassen schnell wieder weg. Dieses Verhalten steht im Gegensatz zu einem eigentlichen Gletschervorstoss, bei welchem als Folge einer langfristig kühleren und niederschlagsreicheren Witterung im Nährgebiet ein Massenüberschuss aufgebaut wird. Die veränderten Massenverhältnisse bewirken dann eine dynamische Reaktion des Gletschers, die sich mit einer zeitlichen Verzögerung bis zur Zunge fortpflanzt.

Auswirkungen von Gletscherendsee

Die Zunge des Triftgletschers im Susen-/Grimselgebiet endet in einem See. Dieser verstärkt den Rückzug durch Kalben und zusätzliche Wärmezufuhr. Im Lauf der letzten Jahre vergrösserte sich der See auf Kosten des Gletschers kontinuierlich, sodass nun im Sommer 2003 ein grosser Bereich wegschmolz.

Sprunghafter Rückgang

In anderen Fällen dünnt sich ein flaches Gletscherende zunehmend aus, oder ein Teil der Zunge wird mangels Nachschub vollständig losgetrennt, was einen einmaligen sprunghaften Rückgang bewirkt – sehr oft begleitet von einem Rückzug der Zunge über eine Steilstufe, wo sie anschliessend wieder auf eine stabilere Situation trifft. Dieser Vorgang hat sich in den letzten Jahren am

Bruneggletscher im Turtmannal sowie am Vadret Tiatscha im Unterengadin abgespielt und bahnt sich momentan auch am Dammagletscher an.

Massenhaushalt

Übersicht

Detaillierte Erhebungen des Massenhaushalts – die Bilanz zwischen Schneezuwachs und Eisabtrag – wurden mit der glaziologischen Methode an den drei Schweizer Gletschern Basòdino, Gries und Silvretta durchgeführt. Zusätzlich wurden einzelne punktuelle Messungen der Massenänderung am Jungfraufirn (Gr. Aletschgletscher), Claridenfirn, Giétro- und Corbassièreletscher sowie im Mattmarkgebiet vorgenommen. Die Bestimmung des Massenhaushalts ist aufwändig, liefert jedoch detaillierte Informationen zu den Veränderungen eines Gletschers und gibt speziell die klimatischen Einflüsse unverzögert wieder.

Maximale Massenverluste

Während in der Messperiode 2001/02 alle drei detailliert untersuchten Gletscher einen relativ moderaten Massenverlust erlitten, büssten sie in der folgenden Messperiode 2002/03 sehr viel Masse ein. Die bisherigen Maximalverluste aus den grossen Schwundjahren 1990/91 und 1997/98 wurden deutlich übertroffen. Die Werte der mittleren spezifischen Massenbilanz in Meter Wasseräquivalent betragen in der ersten Periode am Basòdino $-0,36$ m, am Gries $-0,6$ m und am Silvretta $-0,24$ m bzw. in der zweiten Periode $-2,04$ m, $-2,63$ m

und $-1,7$ m. Der Griesgletscher im Nufenengebiet wies die grössten Verluste auf. Nach einer zwischenzeitlich ausgeglichenen Bilanz in der Periode 2000/01 setzte sich der Trend früherer Jahre mit teils sehr massiven Verlusten fort. Analog, aber etwas abgeschwächt, fielen die Massenverluste beim weiter südlich liegenden Ghiacciaio del Basòdino im Tessin aus. Die geringsten Verluste wurden am Silvrettagletscher im hinteren Prättigau verzeichnet. Dieser am Alpennordhang liegende Gletscher weist nach drei aufeinander folgenden, positiven Perioden inzwischen wieder zwei Jahre mit negativer Bilanz auf.

Zusammenhang Ausaperung–Abschmelzen

Nach einem Winter mit allgemein durchschnittlichen Schneemengen in den Alpen, der jedoch im Süden erst gegen Ende das normale Niveau erreichte, dürfte die ausserordentliche Hitzeperiode im Juni 2002 in allen Landesteilen die Ausaperung der Gletscher beschleunigt haben und für die Resultate in der Beobachtungsperiode 2001/02 verantwortlich sein. Analog verlief auch die zweite Beobachtungsperiode. Die ab Ende April sehr früh und äusserst intensiv einsetzende Ausaperung der Gletscher begünstigte das starke Abschmelzen. Dieser Effekt war zusammen mit dem ausserordentlichen und anhaltend warmen, sonnigen und trockenen Sommer 2003 hauptverantwortlich für den extremen Massenverlust der Alpengletscher. Der



Foto: Françoise Funk-Salami

Griesgletscher mit Blinnenhorn (VS) im August 2003. Die Ausaperung ist bereits sehr weit fortgeschritten. Deutlich zu sehen ist das mit feinem Staub und Schutt bedeckte Eis der Gletscherzunge.

Griesgletscher war bereits im Juli bis in die obersten Firnregionen gänzlich ausgeapert. Der ermittelte grosse Eisverlust entspricht etwa 3% des Gesamtvolumens dieses Gletschers. Der in unmittelbarer Nähe gelegene und wesentlich kleinere Ghiacciaio del Basòdino aperte deutlich langsamer aus. Am Silvretta-gletscher kamen ausgedehnt vorhandene ältere Firnschichten der positiven Bilanzjahre zwischen 1998 und 2001 zum Vorschein, die vermutlich zu dem weit geringeren Verlust führten.

Schlussfolgerungen

Die beiden abgelaufenen Messperioden haben einige wichtige Erkenntnisse der Gletscherbeobachtung verdeutlicht.

Die Winterschneedecke ist insofern von Bedeutung, als sie viel Strahlung zu reflektieren vermag und dadurch die überdeckten Firn- und Eisschichten schützt. Die Verhältnisse im Frühjahr während der Ausaperung sind aber noch entscheidender als die Schneemenge, die sich über den Winter aufgebaut hat, da eine früh einsetzende oder intensive Schmelzperiode auch eine dicke Schneeschicht schnell abbauen kann. Für eine positive Massenbilanz sind in erster Linie kühle und niederschlagsreiche Sommer notwendig. Im Gegensatz dazu führen schneearme Winter, gepaart mit warmen strahlungsreichen Sommern, zu grossen Massenverlusten.

Als Folge der ungewöhnlich starken Ausaperung im Hitzesommer 2003 waren im Herbst sehr viel mehr Spalten sichtbar. Zudem kam auf den Gletschern im Laufe des Sommers einiges zum Vorschein, was früher einmal verloren ge-

gangen oder verschwunden war. Die Fliessbewegung des Eises zusammen mit dem Abschmelzen fördert im Zehrgebiet über kurz oder lang nicht nur Erfreuliches zu Tage. Neben Spuren menschlicher Aktivitäten haben sich auf einigen Gletscherzungen wie zum Beispiel am Griesgletscher über die letzten Jahre grössere Mengen von feinem Staub, Gesteins- und Russpartikel angesammelt. Solche Verunreinigungen verstärken die Schmelze so lange, als davon keine durchgehende, einige Zentimeter dicke Schicht vorhanden ist, die das Eis vor der Sonnenstrahlung schützt und dann den gegenteiligen Effekt zur Folge hat.

Dank

Die langfristigen Beobachtungen der Gletscher in den Schweizer Alpen durch die Glaziologische Kommission der SANW sind ohne die tatkräftige und

langjährige Unterstützung vieler freiwilliger Helfer undenkbar. Ein besonderer Dank gilt allen regelmässig im Gelände bei der Aufnahme oder im Büro bei der Datenbearbeitung mitwirkenden Privatpersonen, Angehörigen der Forstdienste in den Gebirgskantonen, der Kraftwerke Ägina, Mattmark und Mauvoisin sowie den Mitarbeitern von Bundesämtern, Forschungsanstalten, Hochschulen und Universitäten.

**Anhang
Der Sommer 2003
aus klimatologischer Sicht**

Eine Rekordhitzewelle beherrschte den europäischen Sommer 2003. In der Schweiz wurden mit Temperaturen von 5 °C über dem langjährigen Mittel alle früheren Temperaturrekorde gebrochen. Die Hitzewelle hatte den ganzen Kontinent erfasst, und die Sommertemperatur – Juni, Juli und August – übertraf in grossen Gebieten Zentraleuropas das 1961–1990 Mittel um mehr als 4 °C. Ähnlich warme Einzelmonate, wie z. B. der Juli 1983, waren in der Vergangenheit auch schon aufgetreten, doch die Häufung von drei so heissen Monaten im Sommer 2003 ist absolut einmalig.

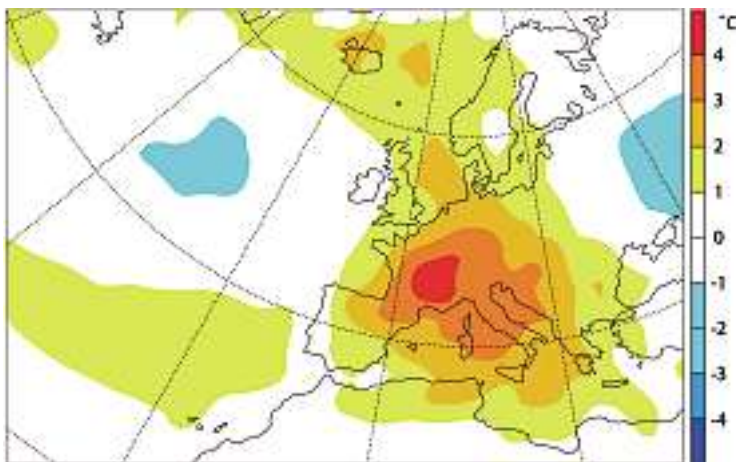
Für eine genauere Analyse des Ereignisses in der Schweiz stehen zwölf sorgfältig homogenisierte Messreihen der MeteoSchweiz mit täglicher Auflösung

seit 1864 zur Verfügung. Um Störungen durch lokale meteorologische Verhältnisse zu reduzieren, wurden vier unabhängige Stationen zusammengefasst (Basel-Binningen, Genf, Bern-Liebefeld und Zürich), deren Datenreihen eine besonders hohe Qualität aufweisen. Ihre mittleren Temperaturen für die Monate Juni, Juli und August und für die ganze Sommerperiode sind in der Figur unten rechts dargestellt. Der Juli 2003 lag noch innerhalb des schon vorgekommenen Temperaturbereiches, doch Juni und August 2003 lösten den Juli 1983 als Rekordhalter für den wärmsten registrierten Monat ab. Die grünen Kurven geben die geschätzten Häufigkeiten für das Auftreten einer bestimmten Monatstemperatur an. Aus den Abbildungen ist ersichtlich, dass die Werte für Juni, August und den Sommer 2003 weit ausserhalb des üblichen Bereiches liegen. Eine Klimarekonstruktion der Universität Bern zeigt zudem, dass der Sommer 2003 europaweit höchstwahrscheinlich der wärmste der letzten 500 Jahren war (Luterbacher et al., 2004).

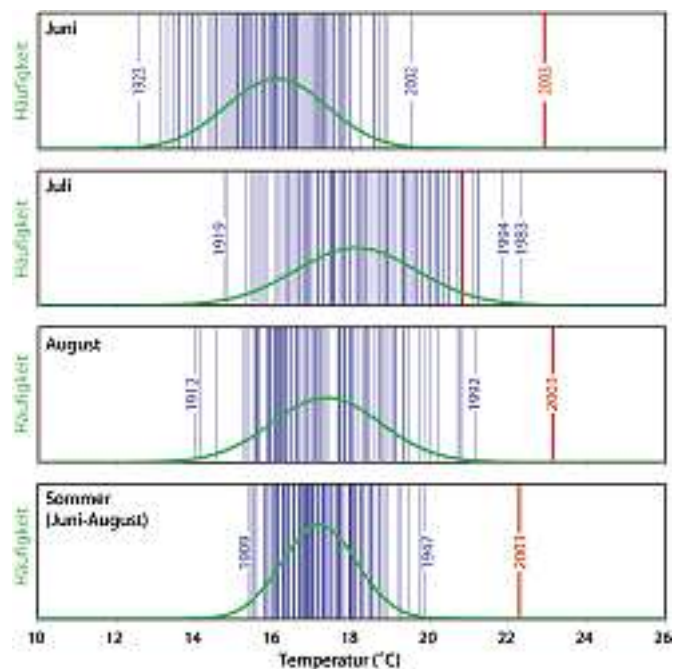
Für seltene Extremereignisse wird manchmal die so genannte Wiederkehrzeit berechnet. Aus der Statistik der Schweizer Temperaturreihen ergibt sich für den extremen Sommer 2003 eine Wiederkehrzeit von mehr als 10 000 Jah-

ren, selbst wenn die Erwärmung der letzten Jahrzehnte berücksichtigt wird. Diese Schätzung ist mit einer grossen statistischen Unsicherheit behaftet. Mit einer Wiederkehrzeit von mehr als 10 000 Jahren ergibt sich ein Zeitraum, in dem Eiszeiten und Zwischeneiszeiten auftreten. Solche Angaben über Wiederkehrzeiten verlieren damit viel von ihrer Bedeutung und besagen höchstens, dass das Ereignis so selten ist, dass es kaum mit der natürlichen Schwankung der Sommertemperaturen erklärt werden kann. Ein Einfluss der Klimaerwärmung ist durchaus wahrscheinlich, kann jedoch nicht schlüssig nachgewiesen werden.

Eine kürzlich veröffentlichte Studie der ETH Zürich (Schär et al., 2004) zeigt, dass man in Zukunft nicht nur mit einer allgemeinen Erhöhung der Temperaturen rechnen muss, sondern auch mit grösseren Schwankungen der sommerlichen Temperaturmittelwerte. Hitzeperioden wie im vergangenen Sommer werden demnach in Europa künftig häufiger auftreten. Die Szenarien gehen von einer weiteren Zunahme der atmosphärischen Treibhausgaskonzentration aus als Folge der zunehmenden Nutzung fossiler Energieträger. Falls sich die berechneten Szenarien bewahrheiten, könnten gegen Ende dieses Jahrhunderts sehr heisse Sommer eher die Regel als die Ausnahme darstellen. Die Modellrechnungen zeigen, dass dann ungefähr jeder zweite Sommer so heiss oder noch



Abweichung der Sommertemperaturen (Juni, Juli, August) vom Normalwert (langjährigen Mittelwert 1961 bis 1990) in °C. Die Hitzewelle 2003 war auf das zentrale Europa beschränkt, während das östliche Europa eher unterdurchschnittliche Temperaturen hatte.



Verteilung der Mitteltemperaturen der Monate Juni, Juli und August und des Sommers für die Jahre 1864 bis 2003 (rot). Die grünen Kurven zeigen die entsprechenden statistischen Häufigkeiten. Die mittlere Schwankung für den ganzen Sommer ist kleiner als diejenige der einzelnen Monate.

heisser als jener des Jahres 2003 ausfallen dürfte. Parallel dazu wird ein Rückgang der mittleren Sommerniederschläge erwartet. ▲

Andreas Bauder^{1,2}, Christoph Schär³
und Heinz Blatter^{1,3}

Literatur

Luterbacher J., Dietrich J., Xoplaki E., Grosjean M. and Wanner H., 2004: *European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500*. Science, 303, 1499–1503

Schär C., Vidale P. L., Lüthi D., Frei C., Häberli C., Liniger M. A. and Appenzeller C., 2004: *The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves*. Nature, 427, 332–336

WMO, 2001: *WMO Statement of the Status of the Global Climate in 2003*. World Meteorological Organization WMO Press Releases, <http://www.wmo.ch>, No. 702

- 1 Glaziologische Kommission, SANW;
- 2 Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich;
- 3 Institut für Atmosphäre und Klima, ETH Zürich

Triftgletscher im Herbst 2003. Im vom See umgebenen Zungenende ist ein

ehemals überdeckter subglazialer Abflusskanal aufgebrochen.



Fotos: Françoise Funk-Salamini



Triftgletscher im Herbst 2003. Ausgedehntes Einzugsgebiet mit der Zunge, die sich durch einen schmalen Ausfluss über eine Steilstufe ergiesst