

Die Gletscher der Schweizer Alpen 2003/04 und 2004/05¹

Im 125. und 126. Berichtsjahr der Glaziologischen Kommission haben die Schweizer Gletscher weiter an Länge und Masse eingebüsst. Die während der Messperioden herrschende Witterung, aber auch die Erwärmung aufgrund der sich global abzeichnenden Klimaveränderung hinterlassen eindeutige Spuren. Im Anhang wird etwas näher auf das Phänomen der Eisabbrüche eingegangen.

Gletscher sind ein gutes Instrument, 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. Die vergletscherte Fläche und die Gletscherlänge geben eher die langfristigen Signale wieder, Schneezuwachs (Niederschlag) und Eisabtrag (Schmelze) stehen in direkter Beziehung zu aktuellen klimatischen Verhältnissen.

¹ Auszug aus dem 125. und 126. Bericht der Glaziologischen Kommission der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (GK/SCNAT) und der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich (VAW/ETHZ)

Witterungsberichte der MeteoSchweiz

Oktober 2003 bis September 2005

2003	Extrem warm, sonnig und niederschlagsarm – Rekordsommer
Oktober	Massiver Kälteeinbruch, Schnee bis ins Flachland auf der Alpennordseite
November	Föhnig und mild, im Süden nass
Dezember	Föhnig, im Mittelland sonnig, im Süden viel Schnee – sonnige, kalte Weihnachten
2004	Wärmer als normal und wechselhaft – Hagelunwetter im Mittelland
Januar	Viel Niederschlag, Weststürme, schneereiches Monatsende
Februar	Frühlingshaft und sonnig zu Beginn, nach Monatsmitte zunehmend winterlich
März	Erst winterlich, zur Monatsmitte warm, dann grosser Schneefall an den Voralpen
April	Im Süden viel Regen, im Norden trocken, föhnig; nass und kühl über Ostern
Mai	Wechselhaft; Wintereinbruch in den Bergen zu Monatsbeginn, Hochsommer an Auffahrt
Juni	Wechselhaft – Starkregen in der Innerschweiz, extrem trocken in der Südschweiz
Juli	Im langjährigen Durchschnitt; verbreitete Hagelgewitter am 8. Juli nördlich der Alpen
August	Sehr warm und schwül, im Westen heftige Gewitter – dann wechselhaft
September	Wegen spätsommerlichem Beginn zu warm – im Westen und Süden trocken
Oktober	Mild und föhnig in den Alpen; sonst regenreich und im Süden sehr sonnenarm
November	Im Norden sehr wenig Niederschlag, im Süden mild; grosse Stauregen zu Monatsbeginn
Dezember	Sonnig und mild in der Höhe, Hochnebel im Norden – ab Monatsmitte wechselhaft
2005	In den Niederungen warm, im Süden extrem trocken – schwere Starkniederschläge im August
Januar	Sonnig und frühlingshaft, gegen Ende hochwinterlich; im Süden kaum Niederschlag
Februar	Hochwinterliche zweite Monathälfte im Norden, grosse Trockenheit im Süden
März	Sehr kalt zu Beginn, sehr mild ab Monatsmitte; erneut niederschlagsarm
April	Insgesamt etwas zu mild – aussergewöhnlicher Schneefall in der Westschweiz
Mai	Wechselhaft, viel Sonne vor allem in Süden – hochsommerliches Monatsende
Juni	Extrem warm, sehr sonnig, vielerorts trocken – Hochsommer ab Monatsmitte
Juli	Im Süden sehr warm, trocken, im Norden wechselhaft – lokal heftige Gewitterstürme
August	Unbeständig und in den Alpen nass und sonnenarm – grosse Unwetterkatastrophe
September	Warm und vielerorts trocken

Quelle: Meteo Schweiz

Witterung und Klima in der Schweiz

Überblick über die hydrologischen Jahre 2003/04 und 2004/05

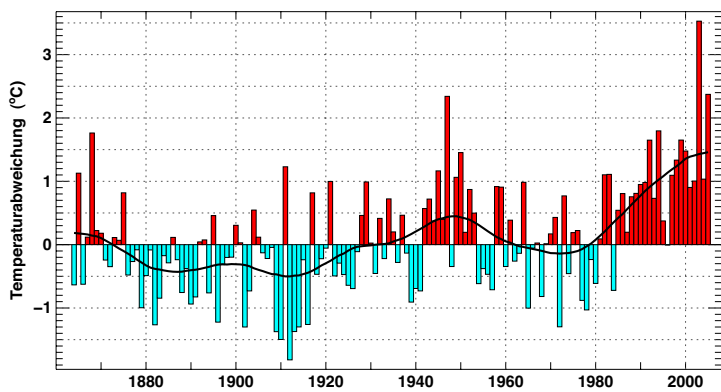
Weltweit zählten 2004 und 2005 einmal mehr zu den wärmsten Jahren seit 1860, dem Beginn der instrumentellen Messungen. Das globale Mittel der Temperatur an der Erdoberfläche übertraf den langjährigen Mittelwert von 1961–1990 um +0,44 °C bzw. +0,48 °C, wobei 1998 noch immer das wärmste Jahr mit +0,54 °C bleibt. Die letzten zehn Jahre (1996–2005) waren aber mit Ausnahme

von 1996 die wärmsten Jahre in den vorhandenen Messreihen seit 1861.

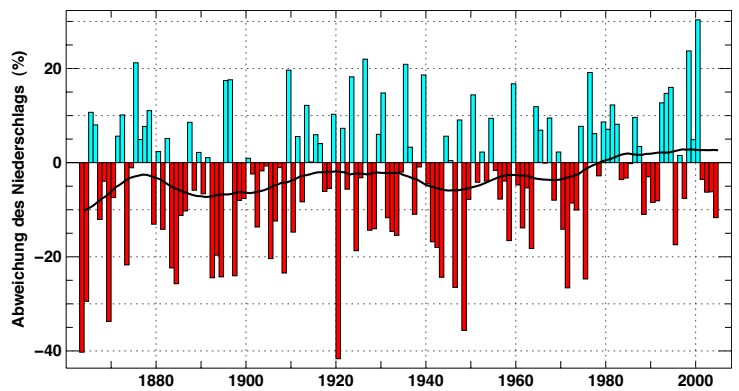
Über dem Durchschnitt lagen klimatische Extreme wie Dürren, Überschwemmungen und Wirbelstürme. Die Ausdehnung des Meereises auf den arktischen Meeren erreicht jeweils im Monat September das Minimum. Im September 2005 wurde die geringste Ausdehnung seit Beginn der satellitengestützten Messungen 1979 festgestellt.

Auch in der Schweiz waren die beiden Berichtsjahre warm und niederschlagsarm, wobei sich besonders das zweite durch einen sehr warmen Sommer und





Entwicklung der Sommertemperaturen, gezeigt als Abweichung vom langjährigen Mittelwert der Jahre 1961 bis 1990. Der Mittelwert pro Jahr wurde jeweils über die Periode vom 1. Mai bis 30. September berechnet.



Die Kurve zeigt die Entwicklung des Jahresniederschlags in Abweichung vom langjährigen Mittelwert der Jahre 1961 bis 1990.

deutliche Niederschlagsdefizite auszeichnete. Für Gletscherveränderungen sind die Sommertemperaturen und die Jahresniederschläge von besonderem Interesse. Neu werden in den Abbildungen die zeitliche Entwicklung der gemittelten Abweichungen von den Normalwerten² an zwölf ausgewählten Stationen aus dem Messnetz von MeteoSchweiz mit speziell aufgearbeiteten Zeitreihen dargestellt.

Hydrologisches Jahr 2003/04

In der ersten Berichtsperiode setzte der Winter mit Schneefällen bis in tiefe Lagen bereits Anfang Oktober 2003 ein. Weitere Schneefälle, besonders Mitte und Ende März, führten zu einem insgesamt schneereichen Winter. Die erste Jahreshälfte 2004 war geprägt von einigen grösseren Temperaturschwankungen und Niederschlagsereignissen. Nach der fröhsommerlichen Hitze Anfang Juni folgte ein wechselhafter Juli, bevor Anfang August hochsommerliche Ver-

² Normalwerte sind langjährige Durchschnittswerte zur Beschreibung des «normalen» Klimas. Seit 2001 wird dafür allgemein die international standardisierte 30-Jahr-Periode 1961–1990 verwendet.

hältnisse zurückkehrten und einen milden Spätsommer bescherten. Im hydrologischen Jahr 2003/04 gab es weder grössere landesweite Extremereignisse noch Monate, die sich gesamtschweizerisch durch Temperatur, Niederschlag oder Besonnung hervorhoben.

Hydrologisches Jahr 2004/05

Nach einem warmen und nassen Oktober und Kaltlufteinbrüchen erst im November war ein schneearmer Frühwinter zu verzeichnen. Die Schneefälle von Mitte Dezember sorgten verbreitet für durchschnittliche Schneehöhen. Auf den Kaltlufteinbruch Mitte Februar folgte eine ungewöhnlich lange Periode mit anhaltendem Winterwetter und extrem tiefen Temperaturen Anfang März. In allen Regionen waren die Schneehöhen Ende März unterdurchschnittlich. Die Südschweiz litt in den ersten Monaten des Jahres unter grosser Trockenheit. Dem warmen Frühjahr schloss sich ein heisser Juni an. Nach veränderlichem, aber warmem Wetter stellte sich erst Ende Juli stabileres Hochdruckwetter ein. Der Abschluss des hydrologischen Jahres war durch eine zunehmende Trockenheit und einem markanten Temperatursturz Mitte September geprägt. Die verheerenden Unwetter von Ende August mit extremen Starkniederschlägen von teilweise mehr als zwei Tagen führten in weiten

Gebieten der Schweiz zu Überschwemmungen und Murgängen.

Temperatur

In der ersten Berichtsperiode waren weder kalte noch extrem warme Monate zu verzeichnen, in der zweiten Periode überwog analog zu früheren Jahren die Anzahl der Monate mit überdurchschnittlich hohen Temperaturen. Die Monate November, April und August in der Periode 2003/04 beziehungsweise Oktober, Mai und Juni 2004/05 waren gesamtschweizerisch überall zu warm. Kälter als im langjährigen Durchschnitt fielen einzig die Monate Oktober in der ersten und Februar in der zweiten Periode aus. Während der für die Schneeschmelze (Mai und Juni) und Ausaperung (Juli bis September) bedeutungsvollen, strahlungsintensiven Sommermonate lagen die Werte in den Alpen 2004 um 1 °C und 2005 um rund 2,4 °C über dem Durchschnitt. Der Sommer 2005 war nur unwesentlich wärmer als jener von 1947 und folgt auf Rang zwei direkt hinter dem Extremsommer 2003.

Niederschlag

In beiden Berichtsperioden fiel der Niederschlag unterdurchschnittlich aus. Dieses Defizit konnten auch die extremen

Sichtlicher Massenverlust am Tiefengletscher: Wegen fehlendem Massennachschub aus dem Nährgebiet hat sich die im Jahr 1990 (Bild siehe S. 34, links) noch deutlich aufgewölbte Zunge sukzessive ausgedünnt (1999 Mitte und 2005 rechts).

Fotos: Archiv VAW / Amt für Forst und Jagd UR



Längenänderung der Gletscher in den Schweizer Alpen 2003/04 und 2004/05

Nr.	Gletscher	Kt.	Änderung		Nr.	Gletscher	Kt.	Änderung	
			Länge (m)	Länge (m)				Länge (m)	Länge (m)
			2003/04	2004/05				2003/04	2004/05
Einzugsgebiet Rhone									
1	Rhone	VS	-11,4	-7,5	111	Ammerten	BE	st	st
2	Mutt	VS	-11,7	-6,8	65	Rätzli	BE	n	n
3	Gries	VS	-27,0	-58,0	112	Dungel	BE	st	-6
4	Fiescher	VS	x	x	113	Gelten	BE	x	x
5	Grosser Aletsch	VS	-41,0	-65,6	Einzugsgebiet Reuss				
6	Oberaletsch	VS	-3,3	-5,8	66	Tiefen	UR	-6,8	-19,8
7	Kaltwasser	VS	-2,0	st	67	Sankt Anna	UR	-7,8	n
10	Schwarzberg	VS	-13	-19	68	Kehlen	UR	-20,5	-21,3
11	Allalin	VS	+3	-5	69	Rotfirn (Nord)	UR	st	-16,7
12	Kessjen	VS	-15	-13	70	Damma	UR	x	n
13	Fee (Nord)	VS	-5,1	-7,4	71	Wallenbur	UR	-6,6	-12
14	Gorner	VS	-5	-17	72	Brunni	UR	n	n
16	Findelen	VS	-18,1	-19,2	73	Hüfi	UR	-34	-4
17	Ried	VS	-29,1	-16,2	74	Griess	UR	+2,2	-9,2
18	Lang	VS	-16	-24	75	Firnalpeli (Ost)	OW	-36,2	-13,0
19	Turtmann	VS	-46,4	-17,4	76	Griessen	OW	-6,3	-5,5
20	Brunegg (Turtmann)	VS	-9,6	-24	Einzugsgebiet Linth/Limmat				
21	Bella Tola	VS	-7,8	-2,4	77	Biferten	GL	-1,8	-10,5
22	Zinal	VS	-9	-8	78	Limmern	GL	-1,7	-3,4
23	Moming	VS	n	n	114	Plattalva	GL	-2,9	-19,6
24	Moiro	VS	+5	-24,5	79	Sulz	GL	+1,5	st
25	Ferpècle	VS	-38	-2	80	Glärnisch	GL	-16,2	-3,1
26	Mont Miné	VS	-36	-29	81	Pizol	SG	+9,7	-10,8
27	Arolla (Mont Collon)	VS	-26	-28	Einzugsgebiet Rhein				
28	Tsidjiore Nouve	VS	-22	-45	82	Lavaz	GR	-354 ¹¹	-7,2
29	Cheillon	VS	-21,6 ²	-14,5	83	Punteglias	GR	-4,6	-10,6
30	En Darrey	VS	-7,3	-28,5	84	Lenta	GR	-37,1	-21
31	Grand Désert	VS	-6,4	-5,2	85	Vorab	GR	x	-27,4 ²
32	Mont Fort (Tortin)	VS	-23,4	-1,4	86	Paradies	GR	st	st
33	Tsanfleuron	VS	-19	-37,5	87	Suretta	GR	-58,5	-54,6
34	Otemma	VS	x	x	88	Porchabella	GR	-11	-19,8
35	Mont Durand	VS	+1,4	-36,4	115	Scaletta	GR	-3,1	-3,3
36	Breney	VS	-31,5	-17,4	89	Verstankla	GR	-3,3	-14,7
37	Giétro	VS	-34,8	-58,1	90	Silvretta	GR	-5,8	-15,9
38	Corbassière	VS	-54,0	-27,0	91	Sardona	SG	-1,4	-7,2
39	Valsorey	VS	n	-27 ²	Einzugsgebiet Inn				
40	Tseudet	VS	n	-54 ²	92	Roseg	GR	-53,7	-55,5
41	Boveyre	VS	n	-24 ²	93	Tschierva	GR	-34,0	-34,3
42	Saleina	VS	-17	-8	94	Morteratsch	GR	+10,3	-22,2
43	Trient	VS	-19	-35	95	Calderas	GR	-12,4	-11,2
44	Paneyrosse	VD	st	x	96	Tiatscha	GR	x	x
45	Grand Plan Névé	VD	-1,6	st	97	Sesvenna	GR	-6,8	n
46	Martinets	VD	n	n	98	Lischana	GR	-4,2	-3,9
47	Sex Rouge	VD	+3,1	-5,5	Einzugsgebiet Adda				
48	Prapio	VD	x	-15,5 ²	99	Cambrena	GR	-6	-9,7
Einzugsgebiet Aare									
50	Oberaar	BE	n	n	100	Palü	GR	-66 ²	n
51	Unteraar	BE	n	n	101	Paradisino (Campo)	GR	-35	-24
52	Gauli	BE	-5	st	102	Forno	GR	-23,6	-43,8
53	Steinlimmi	BE	-32	-52	Einzugsgebiet Tessin				
54	Steinlimmi	BE	-8	-59,5	120	Corno	TI	st	-3,8
55	Trift (Gadmen)	BE	-135,7	-215,8	117	Valleggia	TI	-1,2	-4,4
57	Oberer Grindelwald	BE	x	x	118	Val Torta	TI	st	st
58	Unterer Grindelwald	BE	x	x	103	Bresciana	TI	-76,8	-1,8
59	Eiger	BE	-11,9	-12,0	119	Cavagnoli	TI	-4,2	-14,9
60	Tschingel	BE	-1,7	-3,2	104	Basöдино	TI	-4,7	-14,9
61	Gamchi	BE	-15	-16,6	352	Crosolina	TI	-1,4	-3,2
109	Alpetli (Kanderfirn)	BE	-10,8	-16,3	105	Rosboden	VS	x	n
62	Schwarz	VS	-20	-25,7					
63	Lämmern	VS	-14,6	-13,7					
64	Blüemlisalp	BE	-18,9	-40,4					

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.
 Beispiel: Cheillon -21,6² = Schwund um 21,6 m in zwei Jahren

Starkniederschläge vom August 2005 kaum vermindern. Das hydrologische Jahr 2003/04 war in den Walliser und Bündner Bergen verbreitet, in den übrigen Regionen mehrheitlich niederschlagsarm. Kein einziger Monat fiel überall in der Schweiz zu trocken oder zu nass aus, jedoch fanden sich in allen Regionen eine grössere Anzahl Monate mit deutlich zu trockenen Verhältnissen. Es waren keine grossen landesweiten Niederschlagsereignisse zu verzeichnen. Die Abweichung vom Normalwert war mit -6,2% etwa gleich gross wie in der vorangegangenen Periode.

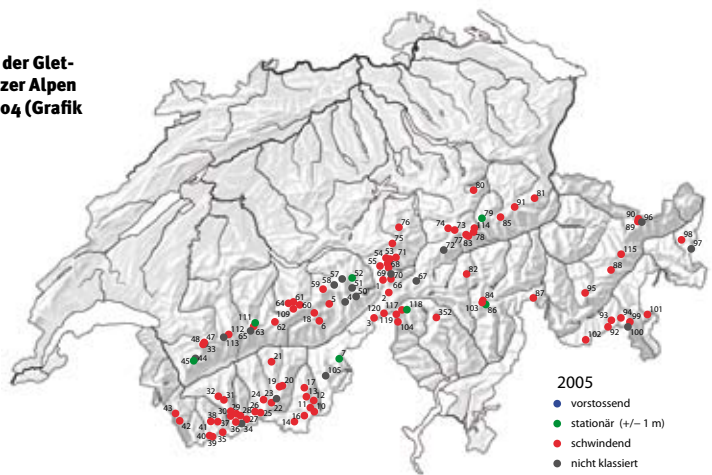
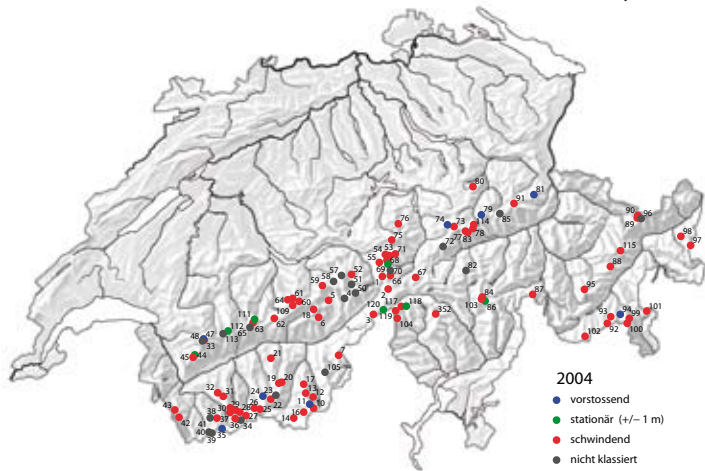
Die Periode 2004/05 war im Westen, in den Alpen und im Tessin niederschlagsärmer als im langjährigen Mittel. Auf der Alpensüdseite war das Niederschlagsdefizit sogar extrem: Im Sopraceneri und im Misox handelte es sich um das trockenste Jahr seit 1901, in den übrigen Gebieten seit 1921. Gesamtschweizerisch fielen März, Juni und September zu trocken aus. Hingegen waren April und August im Norden und der Oktober vor allem im Süden deutlich zu nass. In den südlichen Gebieten der Schweizer Alpen herrschte im Januar und Februar eine längere Trockenperiode. Die Jahressumme lag um 11,7% unter dem Mittelwert von 1961-1990.

Aufgenommen im Jahr 2005:
Dem Riedgletscher ist mittlerweile sein Bett viel zu gross.
Ganz unten erkennt man das Dörfchen Gassenried.

Foto: Françoise Funk-Salamit



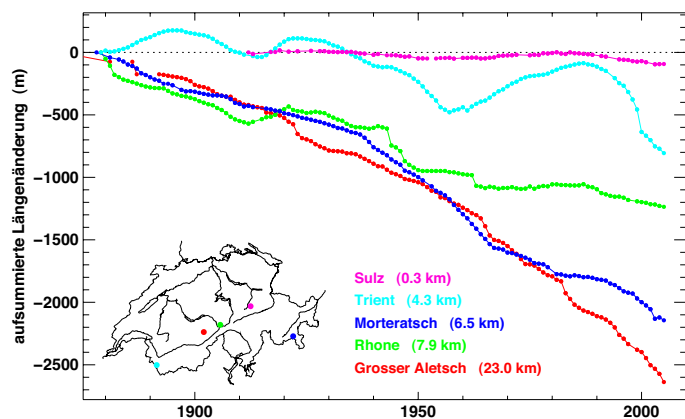
Längenänderungen der Gletscher in den Schweizer Alpen in den Jahren 2003/04 (Grafik links) und 2004/05



Sonnenschein

Die Sonnenscheindauer bewegte sich in der ersten Berichtsperiode im normalen Bereich, während die darauf folgende Periode überdurchschnittliche Werte ergab. In der Periode 2003/04 wich ausser dem sonnenarmen Oktober keiner der restlichen Monate gesamtschweizerisch vom Durchschnitt ab. Hingegen waren in vielen Regionen in den Monaten Februar, Mai und September Überschüsse zu verzeichnen. In der Periode 2004/05 stand den verbreitet sonnenreichen Monaten Dezember, Januar, März, Mai und Juni der als einziger überall in der Schweiz defizitäre Monat Juli gegenüber. Sonnenarm waren der August in den Alpen und der September im Süden. Den grössten Anteil zum Jahresüberschuss

Aufsummierte jährliche Längenänderungen (in m) für fünf ausgewählte Gletscher. Ersichtlich wird das unterschiedliche Reaktions- und Anpassungsverhalten an das Klima.



trug der Juni bei, der wegen der langen Tage entsprechend viele Sonnenstunden lieferte. In den höheren Lagen fiel abgesehen vom Engadin der Überschuss in der Besonnung weniger hoch aus.

Längenänderungen der Gletscher

Die Schweizer Gletscher büssten in den beiden Berichts Jahren 2003/04 und 2004/05 weiterhin deutlich an Länge ein. Im Herbst 2004 wurden von den rund 110 aktiv beobachteten Gletschern 102 besucht und für 92 eine Längenänderung bestimmt. 77 Gletscher zogen sich



Entwicklung des Ammertengletschers seit 1971: Während sich die schuttbedeckte Zunge wenig veränderte, gewann der

Mittelteil etwa bis 1985 an Masse. Dieses Eis schmolz sukzessive wieder weg (1995 und 2005).

Fotos: Archiv VAW/Hodel



Ammertengletscher 1971



Ammertengletscher 1985

zurück, sieben verhielten sich stationär (= +/-1 m), und bei acht wurde eine Zunahme der Länge registriert. Am meisten vorgestossen war mit 10 m der Morteratschgletscher; den grössten Rückzug von rund 134 m mass man am Triftgletscher.

Im Herbst 2005 konnten 100 Gletscherzungen besucht und für 93 eine Längenänderung ermittelt werden. 86 Gletscher zogen sich zurück, sieben Gletscher verhielten sich stationär. Die Maximalwerte zeigten einen Rückzug

von 216 m am Triftgletscher, gefolgt von 66 m am Grossen Aletschgletscher.

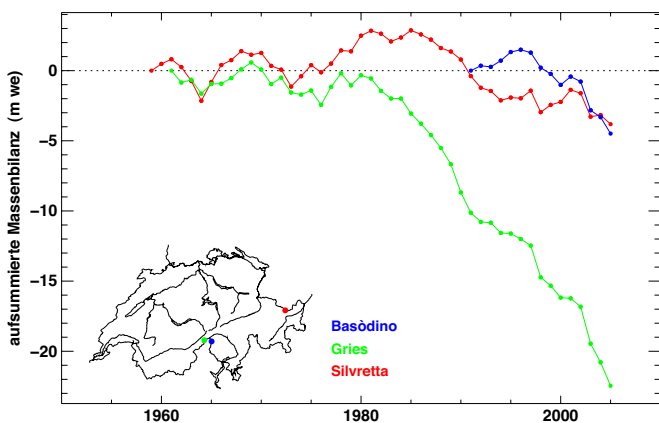
In beiden Perioden lag die Mehrheit der Messwerte zwischen 0 und -30 m. Abgesehen von den maximalen Rückzugswerten beim Triftgletscher waren nur wenige grössere Schwundwerte zu verzeichnen. Diese ausserordentlichen Schwundbeträge betrafen in einigen Fällen eine zweijährige Zeitspanne, stammten teils von grösseren Gletschern

oder waren auf lokale Effekte zurückzuführen.

Lokale Phänomene

Dass vereinzelte Gletscher wie in der ersten Beobachtungsperiode vorstossen, erklärt sich meist durch lokale Phänomene an der Zunge und nicht durch einen eigentlichen Gletschervorstoss als Reaktion auf einen im Nährgebiet entstandenen Massenüberschuss. Am Morteratschgletscher im Berninagebiet wurde in der Messperiode 2002/03 ein grosser Längenschwund ermittelt. Im Herbst 2003 blieb eine sehr steil verlaufende Stirn übrig, die sich innerhalb der Messperiode 2003/04 deutlich verflachte. Zudem verringerte die teilweise mit Schutt bedeckte Zunge die Schmelze des darunterliegenden Eises. In der zweiten Messperiode setzte sich dann die Schwundtendenz der früheren Jahre wieder fort.

Die aussergewöhnliche Entwicklung beim Triftgletscher im Susten-/Grimselgebiet (Gadmertal) kam nicht unerwartet. Der Gletscher zieht sich seit einigen Jahren stark zurück, was durch den See am Zungenende – erhöhte Wärmezufuhr durch direkten Wasserkontakt und Kalben³ – noch verstärkt wird. In den



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

Ammertengletscher 1995



Ammertengletscher 2005

vergangenen beiden Messperioden schmolz das Eis im See bis auf einige kleine Reste.

Erschwerte Messverhältnisse

Der starke und anhaltende Schwund über die letzten Jahre erschwert die Messungen vielerorts, und die Messdispositive müssen häufig angepasst werden. Teilweise haben sich die Gletscherzungen in steiles und unzugängliches Gelände zurückgezogen, sodass sich weitere Messungen nur mit sehr viel grösserem Aufwand beziehungsweise dem Einsatz kostspieliger Messgeräte realisieren lassen. Schliesslich erschwert die zunehmend dicker werdende Schuttbedeckung nicht nur das Auffinden des Eisrandes, sondern es entstehen vermehrt vorgelagerte, losgetrennte Toteismassen, nachdem eine Gletscherzunge in einer Steilstufe vollständig abgeschnürt wurde.

³ Als Kalben wird das Aufschwimmen und Losbrechen randlicher Eismassen bezeichnet.

Massenhaushalt

Detaillierte Erhebungen des Massenhaushalts – der 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 an Jungfraufrirn (Gr. Aletsch), Claridenfirn, Glacier du Giétro und Glacier de Corbassière sowie im Mattmarkgebiet vorgenommen. Im Unterschied zur Längenänderung widerspiegelt der Massenhaushalt deutlicher und unverzögert die klimatischen Verhältnisse in der Messperiode.

Nach den extremen Massenverlusten in der Periode 2002/03, bedingt durch die aussergewöhnlichen Verhältnisse des Hitzesommers 2003, zeigten die Messungen in der Periode 2003/04 wieder deutlich die auch in früheren Jahren beobachteten regionalen Unterschiede. Der Griesgletscher setzte den Trend mit teilweise massiven Verlusten fort. Beim

Ghiacciaio del Basòdino fiel der Massenverlust einmal mehr in abgeschwächter Form aus. Der Silvrettagletscher wies in den vergangenen zehn Jahren mehrfach eine positive Bilanz auf. Grund dafür dürften am Alpennordhang vermehrt vorkommende Schneefälle bis in tiefere Lagen im Laufe des Sommers sein.

Regionale Unterschiede bei Massenverlusten

In der ersten Messperiode erfuhren der Griesgletscher im Nufenengebiet und der benachbarte Ghiacciaio del Basòdino im Nordtessin einen Verlust, während der Silvrettagletscher im hinteren Prättigau eine geringe Zunahme erfuhr. In der folgenden Messperiode büssten alle drei Gletscher an Masse ein. Die Werte der mittleren spezifischen Massenbilanz in m Wasseräquivalent betragen in der ersten Beobachtungsperiode $-0,49$ m am

Basòdino, -1,33 m am Gries und +0,12 m am Silvretta beziehungsweise -1,17 m, -1,67 m und -0,65 m in der Periode 2004/05.

Verschiedene Gründe für Massenverluste

In der Beobachtungsperiode 2003/04 mit allgemein durchschnittlichen Schneemengen in den Alpen setzten die überdurchschnittlich warmen Sommertemperaturen den Gletschern entsprechend zu. Die in der zweiten Beobachtungsperiode ermittelten Massenverluste ordneten sich innerhalb der letzten zehn Jahre nach 2003 und 1998 an dritter Stelle ein. Im Unterschied zu 2003 waren diese Verluste aber vor allem auf die geringen Winterniederschläge und weniger auf die Schmelze während des Sommers zurückzuführen. Die geringen Schneehöhen am Ende des Winters und die hohen Temperaturen Anfang Mai und im Juni begünstigten das schnelle Vorschreiten der Ausaperung sehr. Daran konnten auch die wechselhaften Verhältnisse im Juli mit für die Gletscher günstigeren Bedingungen wenig ändern. Der Sommer war – obwohl weniger strahlungsintensiv – deutlich zu warm.

Witterung und Massenverluste

Diese Entwicklung zeigt die entscheidenden Faktoren im Saisonverlauf klar auf: Die Winterschneedecke ist insofern von Bedeutung, als sie viel Strahlung zu reflektieren vermag und so die überdeckten Firn- und Eisschichten schützt. Entscheidend sind aber die Verhältnisse im Frühjahr während der Ausaperung:

Je später diese erfolgt, desto geringer fallen die Massenverluste aus. Wechselhafte Witterung im Sommer genügt nicht, solange die Temperaturen Schmelze bis in höhere Lagen zulassen. Deshalb ist für eine positive Massenbilanz in erster Linie eine späte Ausaperung in Verbindung mit einem kühlen und niederschlagsreichen Sommer notwendig. Im Gegensatz dazu führen schneearme Winter gepaart mit warmen, strahlungsreichen Sommern zu grossen Massenverlusten.

Messungen sind ohne Freiwillige nicht möglich

Die langfristigen Beobachtungen der Gletscher in den Schweizer Alpen sind ohne die tatkräftige und langjährige Unterstützung durch viele freiwillige 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. Viele der hier vorgestellten Messresultate sowie die langjährigen Datensätze sind auf der Internetseite des Schweizerischen Gletschermessnetzes <http://www.glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers/> frei zugänglich.

**Anhang
Können Eisabbrüche vorhergesagt werden?**

Eisabbrüche gehören zu den bekanntesten objektiven Gefahren für Alpinisten. Weniger bekannt ist, dass in seltenen Fällen auch menschliche Einrichtungen wie Siedlungen, Verkehrswege oder

Fotos: F. Funk-Salamí

Immer mehr Schutt bedeckt die Gletscher, was die Messungen erschwert: Hier die Zunge des schuttbedeckten Zmuttgletschers bei Zermatt im Jahr 2004



Der Oberaargletscher (links) und der schuttbedeckte Unteraargletscher



sonstige Infrastrukturen betroffen sein können. In gewissen Fällen ist zur rechtzeitigen Sperrung von Verkehrswegen oder zur Evakuierung von Siedlungen eine zuverlässige Prognose von Eisabbrüchen erforderlich. Solche Vorhersagen sind aber problematisch und nicht in jedem Fall möglich.

Eisabbrüche und Eisstürze

Eisabbrüche sind in der Regel der normale Massenverlust von hochgelegenen Gebirgsgletschern. Bei kalten, am Fels angefrorenen Hängegletschern fehlt das Zehrgebiet, wo Eis schmelzen kann. Das Massengleichgewicht wird durch Abbrechen von Eis wiederhergestellt. Wenn Eis aus einer senkrechten Gletscherfront abbricht, beschränken sich die Mengen auf 10 000 bis 100 000 m³. Eisabbrüche wiederholen sich alle paar Jahre und können zu jeder Jahreszeit vorkommen.

Bei steilen, am Bett angefrorenen Gletschern können grössere Teile abstürzen (z. B. Hängegletscher am Weisshorn). Das Volumen solcher Gletscherstürze ist grösser als eine Million Kubikmeter. Besonders gefährlich sind Eis- oder Gletscherstürze im Winter. Dann kann auch

ein kleiner Eissturz grosse Schneemassen mitreissen und verheerende kombinierte Eis-Schnee-Lawinen bilden, die sehr grosse Distanzen zurücklegen können. Eine andere Art von Gletschersturz kommt bei Gletscherzungen vor, die auf einem wenig geneigten Felsbett fließen, ohne darauf angefroren zu sein (z. B. Alalingsletscher). Erfahrungsgemäss passiert dies nur während einiger Wochen am Ende des Sommers, wenn der Gletscher stärker gleitet. Gletscherstürze sind jedoch selten. In den weitaus meisten Fällen bleibt es bei vielen kleinen aufeinanderfolgenden Eisstürzen, weil die labile Eismasse durch Riss- und Spaltenbildung allmählich zerfällt.

Historische Ereignisse

Aus der steilen Weisshorn-NE-Flanke im Mättental/VS brechen wiederholt Eismassen von Hängegletschern ab. Eine Gefährdung für Randa besteht nur im Winter bei einer kombinierten Eis-Schnee-Lawine. Von den seit 1636 bekannten 19 Ereignissen forderten drei insgesamt 51 Todesopfer und sechs richteten Schäden im Dorf Randa an. Die NE-Flanke des Weisshorns ist eine typische hochalpine Wandvergletscherung

mit vielen Hängegletschern. Obwohl der Schnee in solchen steilen Flanken nur selten liegen bleibt, können sich lokal unter gewissen Klimabedingungen Zonen mit wachsenden Vergletscherungen bilden. Ein klassisches Beispiel dafür ist die Nordwand der Aiguille d'Argentière.

Absturzprognosen

Im August 1972 erkannte man am Weisshorn eine aussergewöhnliche Situation: Unterhalb des Gipfels wurden rund 0,5 Millionen m³ Eis instabil. Glaziologen setzten darauf zum ersten Mal verschiedene Messverfahren ein, um diesen für das Dorf Randa gefährlichen Eisabbruch vorauszuberechnen. Aufgrund von Bewegungsmessungen gab A. Florin, Meiringen, den Absturz für Mitte August 1973 an. Erfolgreich: Der Absturz fand am 20. August 1973 statt.

Im Rahmen eines Gletscherüberwachungskonzeptes des Kantons Wallis wurde im September 2004 auf dem Gipfel des Bishorns eine automatische Kamera installiert, die täglich ein Bild des Bisgletschers elektronisch an die ETH Zürich sandte. Im Januar 2005 deuteten Spalten auf eine gefährliche Entwicklung hin. Daraufhin wurde die Bewegung des rund 35 m mächtigen Hängegletschers gemessen. Die instabile Eismasse bewegte sich vor ihrem Abbruch bis zu 60 cm pro Tag. Anhand der typischen Geschwindigkeitszunahme wurde am 21. März der theoretische Zeitpunkt



Wandvergletscherung der Nordwand der Aiguille d'Argentière im Wandel: 1903, 1942, 1990 und 2003 sind Stadien minimaler Vergletscherung erkennbar. Dazwischen hat das Volumen des Hängegletschers stetig zu- und abgenommen.

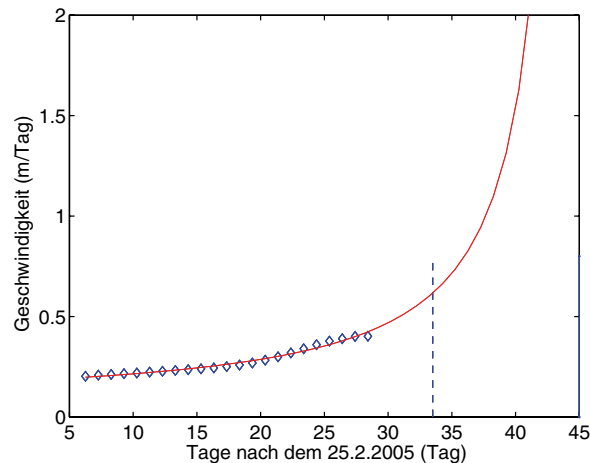


Fotos: M. Roch, Archiv M. Colonel, A. Roch, S. Pfister, F. Valla, P. Sandmayer, C. Vincent



Foto: B. Perren

Beschleunigung des Hängegletschers am Weisshorn rund einen Monat vor dem Eisabbruch: Am 30. März (gestrichelte Linie, Tag 33) brach das Eis ab. Theoretisch war der Eisabbruch erst auf den Tag 45 errechnet worden.



Weisshorn mit Bishorn und Randa im Talgrund 1969 (links). Der gepunktete Kreis am Gipfel umrahmt den Hängegletscher. 2005 drohte der Hängegletscher am Weisshorn (Bild unten) abzubrochen.



Foto: Archiv VAW

des Absturzes für die erste Aprilwoche prognostiziert. Zwei Tage später brachen dann rund 120 000 m³ ab. Dieser Teilsturz destabilisierte die verbleibende Masse, sodass der Hauptabbruch schon am 30. März niederging. Insgesamt brachen 460 000 m³ Eis in zwei Teilstürzen ohne Schadenfolge ab.

Dieser Verlauf zeigt die Hauptproblematik bei der Vorhersage von Eisabbrüchen: Teilabstürze reduzieren das Schadenpotenzial. Sie sind aber nur schwer zu prognostizieren, weil die Geschwindigkeitszunahme der gesamten labilen Eismasse nichts über einen eventuellen Teilabsturz aussagt.

Zungenrutschungen

Von der Zunge des Allalingletschers lösten sich am 30. August 1965 zwei Millionen m³ Eis und stürzten auf das Barackenlager der Baustelle Mattmark ab. Bei diesem Ereignis verloren 88 Menschen ihr

Leben. Anschliessende Untersuchungen zeigten, dass sich die Gletscherzunge bereits zwei bis drei Wochen vor dem Absturz kräftig in Bewegung befand. Diese starke Bewegung wird als Zungenrutschung bezeichnet. Während der aktiven Phase erhöht Schmelzwasser die Gletscherbewegung.

Zungenrutschungen werden beim Allalingletscher alle paar Jahre in der zweiten Hälfte des Sommerhalbjahrs beobachtet, jedoch meistens ohne Absturzfolge. Abstürze sind wahrscheinlich auf eine ungünstige Massenverteilung zurückzuführen: Wegen wiederholter Rutschungen baut sich eine grosse Eismasse im vorderen Zungenbereich auf, die dann den Halt am Fels verliert. Als im Jahr 1996 der Allalingletscher wiederum

die Position von 1965 erreichte, musste erneut mit einem Grossabbruch gerechnet werden. Der Gefahrenbereich wurde gesperrt. Am 30./31. Juli 2000 löste sich insgesamt eine Million Kubikmeter Eis und stürzte bis in den Talboden ab. Die Abbruchstelle lag rund 200 m oberhalb des Anrisses von 1965. Dank den Sicherheitsmassnahmen verlief dieses Ereignis ohne Schäden.⁴

Zuverlässige Prognosen schwierig

Eine erfolgreiche Vorhersage eines Gletschersturzes setzt voraus, dass gefährliche Entwicklungen rechtzeitig erkannt werden. Neben Hinweisen von Bergstei-

⁴ Vgl. ALPEN 9/2001 «Ein Gletscher macht Geschichte»



Foto: Archiv VAW

Seit 1985 (oben) hat sich die Zunge des Allalingsgletschers stetig verringert. 2004 schliesslich ist der Hang eisfrei (rechts).

gern und der ortsansässigen Bevölkerung können ungünstige Veränderungen durch regelmässig erhobene Luftbildaufnahmen und/oder fest installierte automatische Kameras dokumentiert werden. Für steile, am Fels angefrorene Hängegletscher wie am Weisshorn kann eine genaue Absturzprognose erwogen werden. Für steile, am Fels gleitende Gletscherzungen wie am Allalin ist dies nicht möglich, hingegen lässt sich eine Zungenrutschung mit Überwachung erkennen.

Da sich bei Gletscherstürzen vergleichbare Wiederholungen zeigen, werden sie in der Schweiz systematisch inventarisiert. Damit können aber gefährliche Entwicklungen an anderen Gletschern nicht ausgeschlossen werden. Vielmehr dient ein solches Inventar dazu, gefährliche Ereignisse aus der Vergangenheit für Forschung und Raumplanung zugänglich zu machen.

Für zuverlässige Absturzprognosen ist die Gesetzmässigkeit der Geschwindigkeitszunahme vor dem Abbruch wichtig, wobei noch immer viele Fragen offen sind. Von konkreten Messungen für eine Absturzprognose wird erwartet, dass die notwendigen Sicherheitsmassnahmen für Sperrung oder Evakuierung rechtzeitig getroffen werden. Trotz bedeutenden Fortschritten bei der Vorher-

sage von Eisabbrüchen ist das Meiden des Gefahrenbereichs noch immer die sicherste Schutzmassnahme vor Eislawinen. Dieser Grundsatz sollte bei der Raumplanung so weit als möglich befolgt werden. Gefahrenzonen können grob mit einfachen Kriterien ausgedelimitiert werden. Für genauere Abgrenzungen sind jedoch umfangreiche Untersuchungen und numerische Simulationen notwendig. ▀

Andreas Bauder, Antoine Pralong, Martin Funk und Jérôme Faillettaz, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich

Änderung der Geschwindigkeit mit der Zeit während der Zungenrutschungen des Allalingsgletschers

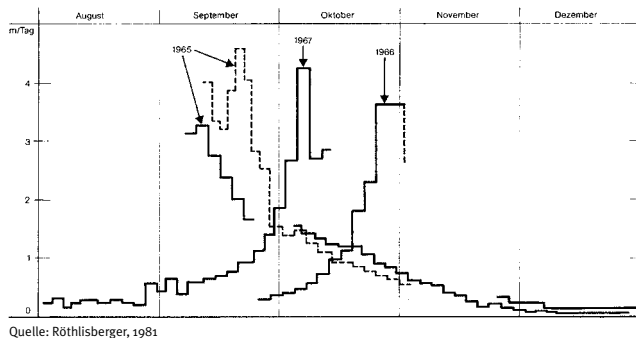


Foto: F. Funk-Salamí

Literatur

Begert M., Schlegel T. and Kirchhofer W. (2005): *Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000*. International Journal of Climatology, 25(1): 65–80.

WMO (2005): *WMO Statement of the Status of the Global Climate in 2005*. World Meteorological Organization WMO Press Releases (www.wmo.ch), No. 743.

Pralong A. (2005): *On the instability of hanging glaciers*. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW, ETH Zürich) Nr. 189.

Raymond M., Wegmann M. and Funk M. (2003): *Inventar gefährlicher Gletscher in der Schweiz*. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW, ETH Zürich) Nr. 182, <http://glaciology.ethz.ch/glaciers-hazards/>