

Zeitschrift: Cratschla : Informationen aus dem Schweizerischen Nationalpark
Herausgeber: Eidgenössische Nationalparkkommission
Band: 1 (1993)
Heft: 2

Artikel: Verstärkter Gletscherschwund in den Bündner Alpen
Autor: Maisch, Max
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-418615>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Verstärkter Gletscherschw

und in den Bündner Alpen

Seit Mitte des letzten Jahrhunderts, der Endphase der „Kleinen Eiszeit“, befinden sich die Gletscherströme des Bündnerlandes, ja sogar der gesamten Alpen, in einer markanten Schwundphase. Der starke Flächenrückgang seit dem „Hochstand von 1850“ im Ausmass von rund 40 Prozent und die überdurchschnittlich warmen Sommer der letzten Jahre werfen brisante Fragen nach den Ursachen und den künftigen Folgen auf. Wie schnell und nach welchen Gesetzmässigkeiten werden sich die Gletscher Graubündens weiter zurückbilden, wenn sich die Klimaerwärmungstendenz fortsetzt? Und welches werden die Auswirkungen des „verstärkten Treibhauseffektes“ für Natur und Mensch sein?

In einer umfangreichen gletscherkundlichen Studie am Geographischen Institut der Universität Zürich wurden im Bündnerland und den angrenzenden Gebirgsregionen sämtliche Eisflächen inventarmässig erfasst und deren Veränderungen seit 1850 systematisch ausgewertet. Basierend auf diesen Grundlagen wurde es erstmals möglich, präzisere und glaziologisch fundierte Voraussagen zum künftigen Gletschersterben in den Alpen zu formulieren. Ebenso wurde versucht, die Prognosen zum Gletscherschwund und die zu erwartenden Veränderungen im Landschaftsbild der Hochgebirge in Form verschiedener Szenario-Skizzen zu visualisieren.

Klimaerwärmung und Gletscherschwund

Die schuttreichen, meist noch kaum vegetationsbedeckten Ufermoränenkämme sprechen eine deutliche Sprache: die Gletscher der Alpen sind in den vergangenen rund 140 Jahren zum Teil ganz drastisch zurückgeschmolzen. Die Ursache dieses eindrücklichen Rückschmelzens liegt in einer globalen Erwärmungstendenz des Klimas seit etwa Mitte des letzten Jahrhunderts. Gletscher gelten aufgrund ihrer Reaktionen als sensible Klimaindikatoren. Nicht nur in Fachkreisen stellt man sich daher immer wieder die Frage nach der Signal-

wirkung und der klimatologischen Bedeutung dieses Eisrückgangs. Ebenso bilden auch die möglichen Zukunftsaussichten unserer Alpengletscher im „verstärkten Treibhausklima“ der Erde ein stets „heissdiskutiertes“ Spekulationsthema (vgl. M. Kuhn, 1990; W. Haeberli, 1991).

Durch die Klimaerwärmung seit dem Hochstand von 1850 haben die Gletscher vor ihren zurückweichenden Zungen und neben ihren einsinkenden Rändern grössere Schutt- und Felsareale freigegeben. Dadurch ist eine Vielzahl charakteristischer Landschaftszonen entstanden, die sogenannten Gletschervorfelder. Noch

deutlich sind in diesen jungen und geomorphologisch dynamischen Neulandgebieten die Spuren frischer fluvialer und glazialer Prägung zu sehen. Erst zaghaft fassen auch die ersten Pionierpflanzen und kleinen Bäumchen Fuss auf kargem und noch rutschigem Boden.

Das Ausmass der heute erreichten Gletscherausdehnungen wird oft als beispiellos gering und daher gelegentlich als bereits „treibhausbedingt“ eingeschätzt (vgl.

**EIN BEITRAG VON
MAX MAISCH**

Diskussionen um den „Öztaler Similaunmann“). Nach neuester Kenntnis waren die Eisströme der Alpen aber auch schon in früheren, „treibhausunabhängigen“ Phasen des Postglazials (Zeitraum der letzten 10 000 Jahre) ähnlich stark, wenn nicht zeitweise sogar stärker zurückgeschwunden als heute (vgl. H. Holzhauser, 1993). Auch die Dynamik des gegenwärtigen Eisrückgangs ist im Vergleich zur Endphase der letzten Eiszeit nicht nachweisbar schneller als früher (M. Maisch, 1993). Die heutige Situation ist also aus gletschergeschichtlicher Sicht (noch) nicht als aussergewöhnlich zu bezeichnen. Trotzdem, auch ohne glaziologische Rekordwerte sollte uns allein das Wissen um die nicht mehr ausschliesslich „natürliche“

Beeinflussung der momentanen Entwicklung dazu motivieren, aktivere Massnahmen zur Reduktion und Stabilisierung der Treibhausgasemissionen zu ergreifen.

Gletscherinventar des Hochstandes von 1850

Im Zuge der Diskussionen über die künftigen Veränderungen und deren Folgewirkungen in den hochalpinen Ökosystemen kommt der Erforschung des Hochstandes von 1850 und des Gletscherrückgangs bis zur Gegenwart eine wichtige Bedeutung zu. Das 1850er-Vorstossereignis repräsentiert nicht nur eine für das gesamte Postglazial typische, immer wieder erreichte maximale Ausdehnung der Gletscher. Es bildet gleichsam auch Abschluss und Kulmination einer oft als „Kleine Eiszeit“ (engl. „Little Ice Age“) bezeichneten wichtigen Phase der Gletschergeschichte und hat daher Modellcharakter (vgl. Abb. 1). Dieser Umstand war Anlass, vorerst im Gebiet des Bündnerlandes sämtliche Gletscherflächen um 1850 systematisch zu erfassen und deren Veränderungen bis zum heutigen Zustand zu analysieren.

Zu diesem Zweck wurde in den letzten Jahren ein flächendeckendes Inventar des Gletscherhochstandes von 1850 erstellt. Gleichzeitig wurde die aktuelle, auf den Grundlagen des Schweizerischen Gletscherinventars beruhende Vergletscherungssituation in die Untersuchung miteinbezogen (Basisjahr 1973; vgl. F. Müller et al., 1976). Die Parametrisierung der Eisflächen und deren Merkmale wurde nach einem standardisierten Erfassungsschema durchgeführt. Pro Gletscher wurden rund 50 verschiedene Messgrößen direkt erhoben und in einer Datenbank abgespeichert. Die Ergebnisse der Auswertungen liegen nunmehr in Form einer zweibändigen Dokumentation vor (M. Maisch, 1992).

Abb. 1: Vereinfachte Kurve der Gletscherschwankungen während der „Kleinen Eiszeit“

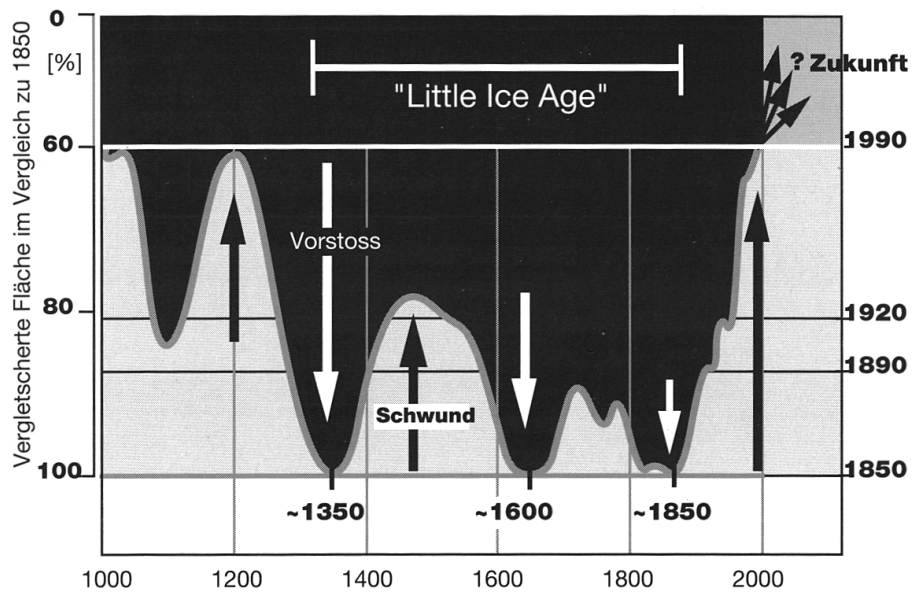
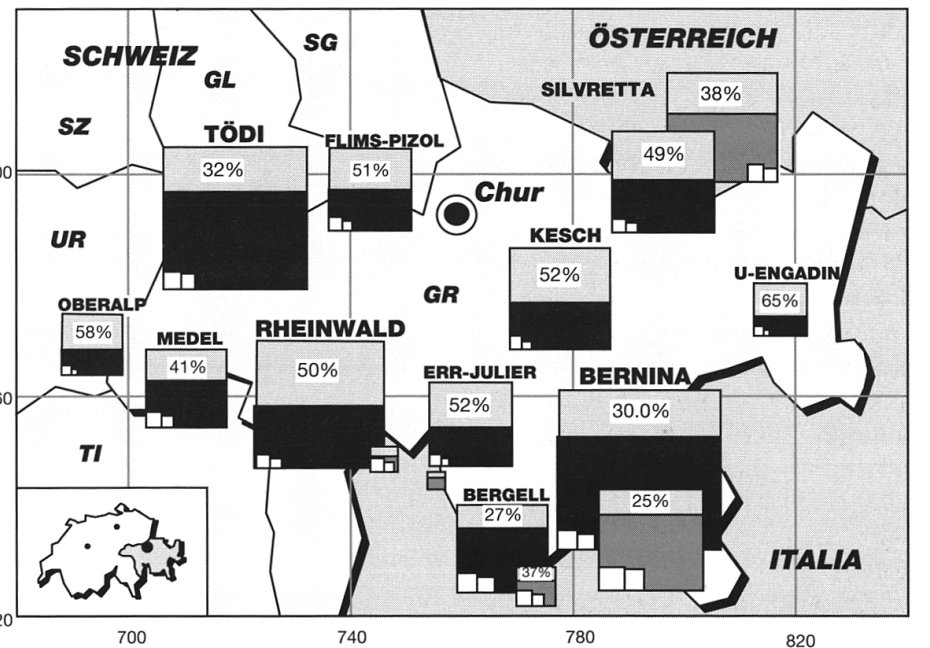


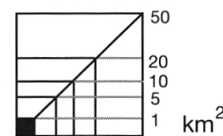
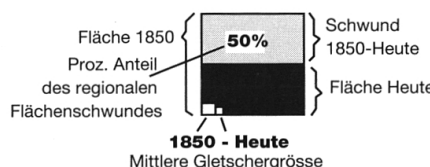
Abb. 2: Karte zur Vergletscherung und zum Gletscherschwund seit 1850 im Grossraum Bündnerland



Regionale Vergletscherung

Flächen-Massstab

Länderanteile der Gletscherflächen

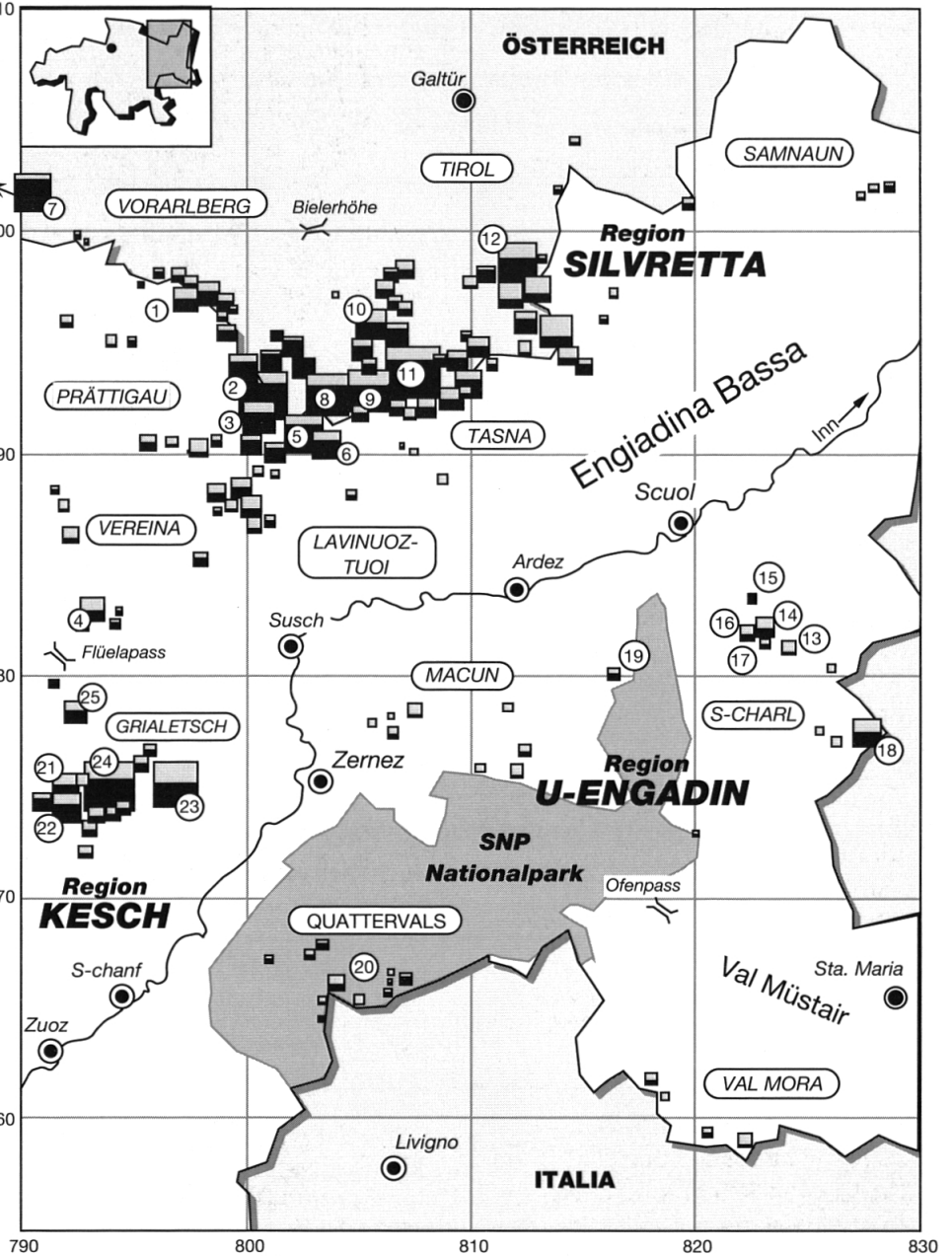


**Vergletscherung
im Grossraum Graubünden**

In den verschiedenen Gebirgsgruppen des Bündnerlandes gibt es nach den Ergebnissen der vorliegenden Studie heute noch annähernd 600 Gletscher. Ihre Anordnung weist wegen der uneinheitlichen Topographie des Gebirgsbaus und der variierenden Niederschlagsverhältnisse eine räumlich-geographisch unterschiedlich starke Konzentration auf (Abb. 2). Das zentrale Berninamassiv zählt zusammen mit den Regionen Silvretta, Tödi und Rheinwald damals wie heute zu den am stärksten vereisten Gebirgsgruppen der Ostalpen. Weniger dicht ist die Vergletscherung in den Regionen Bergell, Kesch, Err-Julier, Flims-Pizol und Medel, währenddem sie in den Gebieten Oberalp und Unterengadin nur noch unbedeutend erscheint. Die Grössenstruktur der untersuchten Eisflächen ist in den meisten Regionen sehr einseitig durch kleine und kleinste Gletscher oder Firnflächen dominiert. Über 90% der heutigen Gletscherflächen sind kleiner als 1 km² und nur gerade neun Talgletscher erreichen eine Grössenausdehnung von mehr als 4 km² (z.B. Morteratsch-, Roseg- und Tschiervagletscher).

Im Gebiet des Schweizerischen Nationalparks existieren wegen der orographischen Trockenheit und mangels genügend hoch hinaufreichender potentieller Nährgebietsflächen nur noch einige wenige, seit 1850 überdurchschnittlich stark geschrumpfte Eisflächen (vgl. Abb. 3). Sie liegen hauptsächlich in den nordexponierten und daher ablationsgeschützten Kargebieten um den Piz Quattervals (3165 m). Grössere Gletscheransammlungen sind in der Nachbarschaft des SNP erst wieder in der zentralen Silvretta (z.B. Silvretta- und Verstanclagletscher) und im Keschgebiet (z.B. Grialetschgletscher) zu beobachten.

Abb. 3: Gletscher und Gletscherschwund seit 1850 in der Umgebung des Schweizerischen Nationalparks



○ Ausgewählte Gletscher

- Region SILVRETTA**
- 1 Seegletscher
 - 2 Silvretttagletscher
 - 3 Verstanclagletscher
 - 4 Jörgigletscher
 - 5 Vadret da Tiatscha
 - 6 Plan Rai
 - 7 Brandner Gletscher
 - 8 Ochsentaler Gletscher
 - 9 Vermuntgletscher
 - 10 Bieltalferner
 - 11 Jamtalferner
 - 12 Larainferner

- Region U-ENGADIN**
- 13 Vadret d'Immez
 - 14 Vadret Rims
 - 15 Vadret Triazza
 - 16 Vadret Lischana
 - 17 Vadret Cornet
 - 18 Vadret Sesvenna
 - 19 Vadret Zuort
 - 20 Val Sassa

- Unterregionen:**
- GRIALETSCHE

Region KESCH

- 21 Scalettagletscher
- 22 Vadret Viluoch
- 23 Vadret Sarsura
- 24 Vadret da Grialetsch
- 25 Vadret da Radönt

Flächenmassstab



Gletscher-Schwund seit 1850
 bzw. Fläche des heutigen
 Gletschervorfeldes
 Gletscherfläche "Heute"



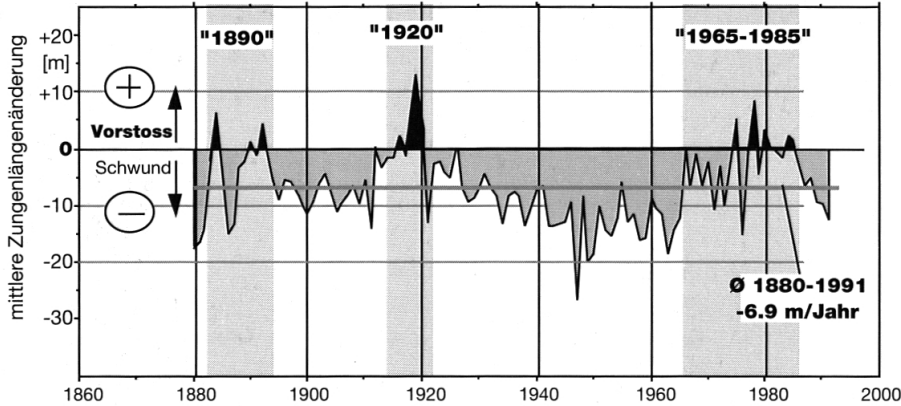
Abb. 4: Darstellungen zum Verhalten der im Schweizerischen Beobachtungsnetz figurierenden Gletscher

Vermessung der Zungenlängen

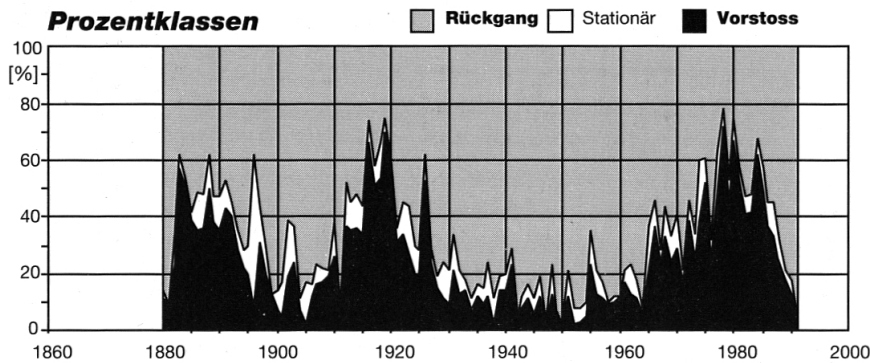
Seit Beginn der offiziellen Gletscherbeobachtung, ab ca. 1880, sind wir über das jährliche Verhalten der Eisströme in den Schweizer und Bündner Alpen gut informiert (Abb. 4; vgl. P. Kasser et al., 1986). Die Datenreihen ausgewählter Gletscherzungen veranschaulichen sehr eindrücklich das generelle, je nach Gletschergrösse aber unterschiedlich starke Zurückweichen seit dem letzten Jahrhundert. Der mittlere jährliche Rückgangsbetrag der im Beobachtungsnetz figurierenden Gletscher lässt sich im Zeitraum 1880–1991 auf -6.9 m/Jahr berechnen. Es ist aber auch deutlich zu sehen, dass der allgemeine Gletscherschwund mehrere Male unterbrochen oder vorübergehend verzögert wurde.

Im Verlauf der Vorstossphasen um 1890 und 1920 sowie im Zeitraum zwischen 1965 und 1985 sind in den Schweizer Alpen bis jeweils maximal 75% der Gletscher wieder leicht vorgestossen. Während dieser Zeit waren gesamthaft sogar positive Zungenlängenänderungswerte zu verzeichnen und einzelne Gletscher schütteten damals auch klar erkennbare Moränenwälle auf. Diese Erholungsphasen vermochten aber den allgemeinen Rückgangstrend nicht zu unterbrechen. In der warmen Phase zwischen 1940–60 war ein ausgesprochenes Schwundverhalten typisch. Rund 80% der Zungen bildeten sich damals gleichzeitig zurück und die mittleren jährlichen Schwundbeträge erreichten überdurchschnittliches Ausmass. Seit der Messperiode 1985/1986 verzeichnen die Protokolle wieder mehrheitlich ein rückläufiges Gletscherverhalten. Bereits haben die absoluten Schwundbeträge in den letzten drei Haushaltsjahren über dem Durchschnitt liegendes Ausmass angenommen (89: -9.1 m ; 90: -9.7 m ; 91: -12.3 m).

Mittlere jährliche Zungenlängenänderung



Prozentklassen



Gletscherrückgang seit 1850

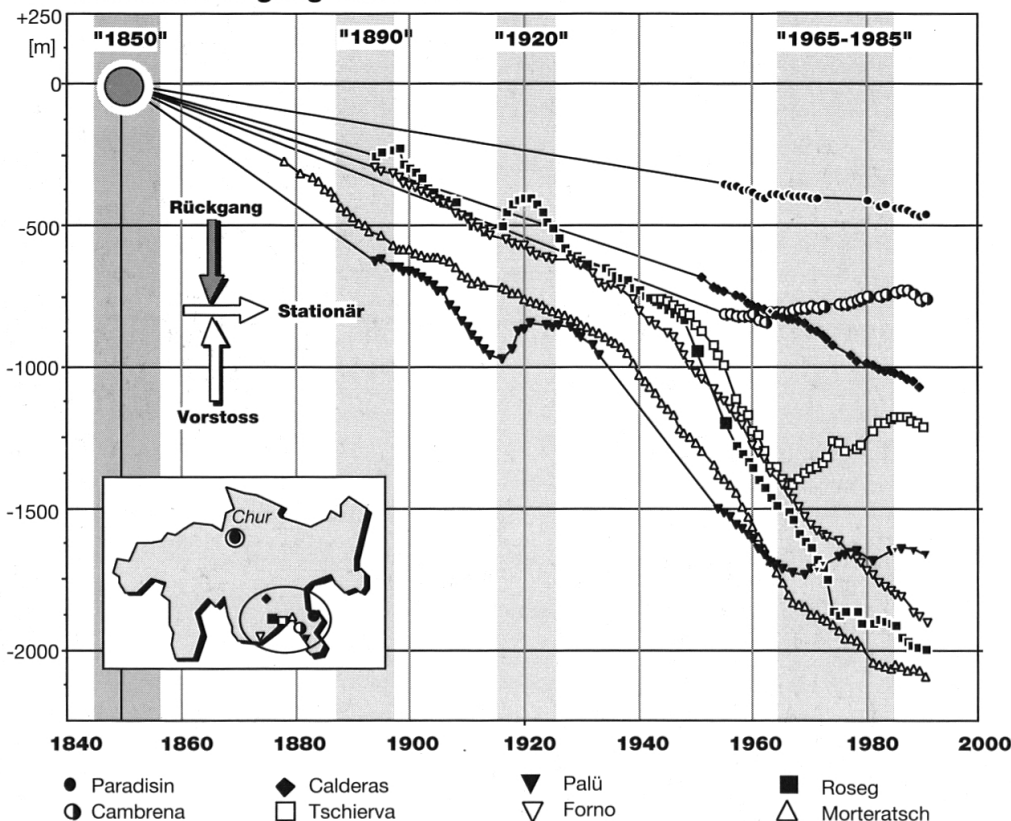
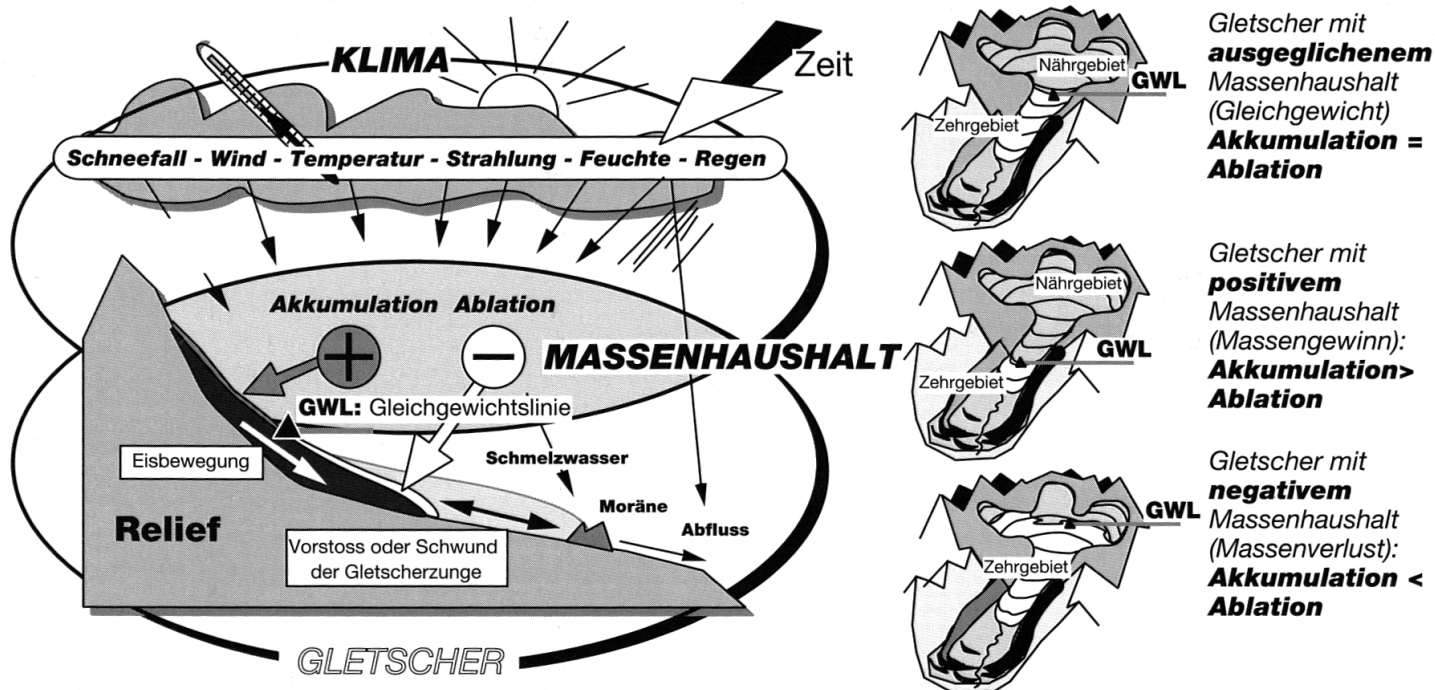


Abb. 5: Schema des Zusammenspiels zwischen Klima, Relief, Gletscher und Massenhaushalt (links) sowie drei typische Ernährungszustände eines Gletschers (rechts).



Ausmass des Gletscherrückgangs

Im Grossraum Bündnerland (Graubünden inkl. benachbarte Kantone und angrenzende Gebirgsregionen Österreichs und Italiens) sind nach den vorliegenden Ergebnissen seit Mitte des letzten Jahrhunderts rund 185 km² oder 40% der ursprünglichen Eisfläche von 465 km² abgeschmolzen (vgl. Abb. 2). Die eisfrei gewordenen Vorfeldflächen entsprechen damit etwa der Ausdehnung des Kantons Appenzell I.Rh. (172.1 km²) oder der fünffachen Grösse des Kantons Basel-Stadt (37.2 km²). Von den ursprünglich rund 700 inventarisierten Gletschern verbleiben somit noch deren 600 mit einer Gesamtfläche von 280 km². Etwa 100 kleinere Eis- und Firnflächen haben sich vollständig aufgelöst. Grössere Gletscher und stärker vergletscherte Regionen (z.B. Bernina) haben dabei im Vergleich zu ihren Ausgangsdimensionen absolut die bedeutendsten Verluste erlitten. Sie sind aber anteilmässig weniger stark geschrumpft (20-35%) als kleinere und weniger

stark vereiste Gletscher(regionen), deren Verlustanteile typischerweise 50-70% betragen (z.B. Unterengadin).

Volumenmässig sind im Kanton Graubünden seit 1850 annähernd 4.7 km³ Eis (dies entspricht einer Wassermenge von 4.2 km³) abge-

Volumenmässig sind im Kanton Graubünden seit 1850 annähernd 4.7 km³ Eis (entspricht 4.2 km³ Wasser) abgeschmolzen, was dem Wasserinhalt des Zürichsees ziemlich nahe kommt.

schmolzen, was dem Wasserinhalt des Zürichsees (ca. 4 km³) ziemlich nahe kommt. Nach Schätzungen betragen die heute noch in Form von Firn und Eis gespeicherten bündnerischen Wasserreserven annähernd 5.5 km³. Dieser Vorrat entspricht gerade der Abflussmenge eines Normaljahres des Rheins bei der Messstation Bad Ragaz oder der 35fachen Wassermenge des Silsersees (0.153 km³).

Gletscherhaushalt und Schneegrenze

Ihre Bildung und Existenz verdanken die Gletscher hauptsächlich dem regionalen und lokalen Klimasystem und dem Zusammenspiel seiner wichtigsten Elemente (Abb. 5). Mit dem Klima sind die Gletscher über den sogenannten Massenhaushalt und den damit verbundenen Schwankungen der Gleichgewichtslinie verknüpft. Diese für die Ernährung der Gletscher sehr wichtige und auf Klimaänderungen sehr empfindlich reagierende Höhenzone stellt auf der Eisoberfläche die Trennlinie zwischen Nähr- und Zehrgebiet

dar. Steht ein Gletscher im Gleichgewicht, so ist in diesem Zustand das Nährgebiet etwa doppelt so gross wie das Zehrgebiet (sog. 2:1-Flächenteilungsverhältnis). In kühlen, niederschlagsreichen und daher für die Gletscherernährung günstigen Sommern apert nur gerade die untersten Höhenzonen im Bereich der Zunge aus (vgl. Abb. 5). Im Nährgebiet werden bei diesem Zustand deutliche Massengewinne erzielt. In gletscherungünstigen, d.h. warmen und trockenen Jahren, steigt die Schneegrenze im Spätsommer wesentlich höher hinauf. Der Gletscher muss bei verstärkter Ausaperung dann zusätzliches „Kapital“, bzw. Eis verflüssigen, um das Einnahmedefizit mittels Schwund zu kompensieren.

Aus glaziologischer Sicht waren also die „roten Zahlen“ im Massenhaushalt der Gletscher seit 1850 die Konsequenz einer Höherverlagerung der Gleichgewichtslinie. Die Schneegrenzen sind in Graubünden im Mittel seit 1850 um rund 80 Meter, in trockeneren Gebieten (Bernina, Unterengadin) sogar bis 100 Meter angestiegen. Dieser Betrag lässt sich sehr gut mit direkt gemessenen Temperaturanstiegswerten korrelieren. Der Gletscherschwund seit 1850 ist aus klimatologischer Sicht die Folge eines Temperaturanstiegs in der Grössenordnung von 0.5–0.7° C seit Mitte des letzten Jahrhunderts.

Wir wird sich das Klima in nächster Zukunft verändern?

Modellrechnungen und Voraussagen zur „treibhausbedingten“ Klimaentwicklung lassen wegen der Kompliziertheit der einzelnen Natursysteme und deren Rückkoppelungsmechanismen (Atmosphäre, Hydrosphäre, Biosphäre etc.) heute noch einen breiten Spielraum für Spekulationen offen. Die meisten Klimamodelle

gehen jedoch von einer mehr oder weniger starken Zunahme der Treibhausgase und deren Wirkung in den nächsten Jahrzehnten aus (vgl. M. Kuhn, 1990). Nach internationaler Übereinkunft wird bei linearem Wachstum der Treibhausgas-Emissionen (sog. „business as usual“-Szenario, IPCC, 1990) für das nächste Jahrhundert eine globale Erwärmungsrate von +0.3° C pro Jahrzehnt erwartet (sog. Szenario A). Für das Gebiet der Rhätischen Alpen und der Zentral- und Südalpen ist bis ins Jahr 2030 mit einem Anstieg der Sommertemperaturen um rund 1.2° C und bis Ende des nächsten Jahrhunderts um rund 3.4° C zu rechnen. Nach einem weniger pessimistischen Szenario (Szenario C, Anstiegsrate ca. +0.2° C pro Jahrzehnt) steigen die Sommertemperaturen vorerst um etwa 0.8° C bis ins Jahr 2030 und mit abgeschwächter Zuwachsrate um rund +1.8° C bis Ende des 21. Jahrhunderts (vgl. NFP-31-Arbeitspapier, 1992; vgl.

Tabelle 1). Im Vergleich zur Klimaentwicklung im Zeitraum seit 1850 (Anstiegsrate +0.5° C/100 J) liegen beide Szenarien deutlich über dem Durchschnitt der vergangenen 140 Jahre.

Die Eismassen schwitzen (vorerst noch) im Computer

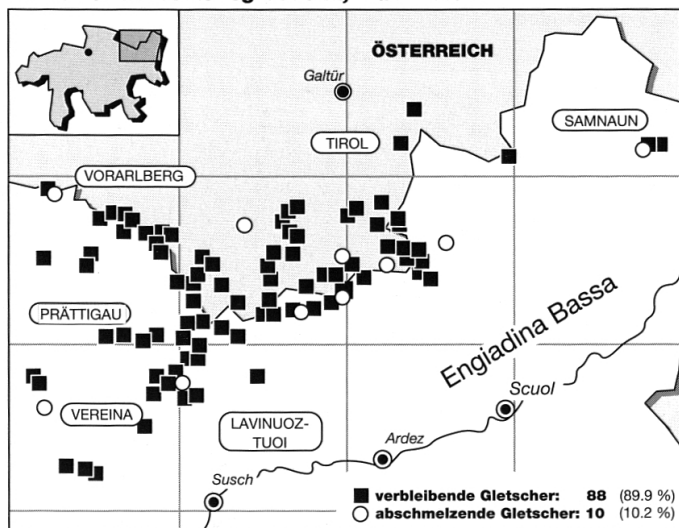
Wie schnell werden nun die Gletscher im Bündnerland und auch anderswo in den Alpen auf diese bevorstehende Klimaerwärmung reagieren? Zur Beantwortung dieser Frage müssen die Temperaturprognosen vorerst in eine für den Gletscher verständliche Sprache übersetzt werden. Dazu wurden auf empirischer Grundlage ($dT/dGWL = 0.6^\circ/100\text{ m}$) verschiedene Schneegrenzanstiegs-Szenarien von je 100 m Differenz gebildet. Mit diesen Vorgaben kann nun die Reaktion der Gletscher vorerst nur als Funktion der Änderungen der Gleichgewichtslinie und noch unabhängig von Klimaszenarien berechnet werden. Zur Abschätzung der Dynamik des künftigen Eiszerfalls wurden die verschiedenen Schneegrenzanstiegs-Stufen jedoch mit den oben näher beschriebenen Klimaszenarien verknüpft (Tabelle 1, S. 21).

Mit Hilfe der hypsographischen Profile wurde nun an jedem Gletscher die Schneegrenze schrittweise um 100 m erhöht und daraus die Verringerung seiner Nährgebietsflächen berechnet. Daraus konnte unter Wahrung des 2:1-Verhältnisses zwischen Nähr- und Zehrgebiet das Ausmass des voraussichtlichen Abschmelzbeitrages an der Zunge ermittelt werden. Jeder Gletscher wurde also solange „künstlich“ zum Abschmelzen gebracht, bis sich seine Ernährungsbilanz und die Ausdehnung wieder im Gleichgewicht mit den neuen Klimabedingungen befanden. Gleichzeitig konnte einfach beurteilt werden, bei welchem Szenario ein Gletscher wohl vollständig abschmelzen wird. Dies ist dann der Fall,

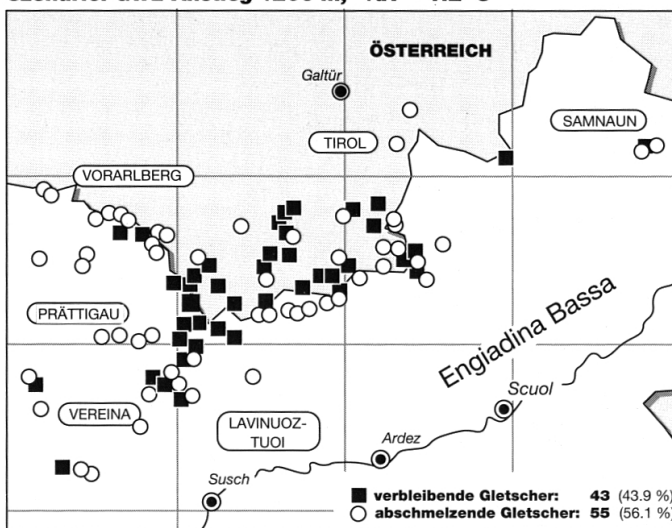
Wenn sich die Klimaprognosen im Trend bewahrheiten und sich keine „natürlichen“ Abkühlungsphasen dazwischenschalten, wird es zu einem „Gletschersterben“ mit deutlich beschleunigter Zerfallstendenz in der ersten Hälfte des nächsten Jahrhunderts kommen.

Abb. 6: Gletscherschwund-Szenarien für die Silvretta. Dargestellt sind die unter den verschiedenen Klima- und Schneegrenz-Szenarien verbleibenden, bzw. ganz wegschmelzenden Gletscher.

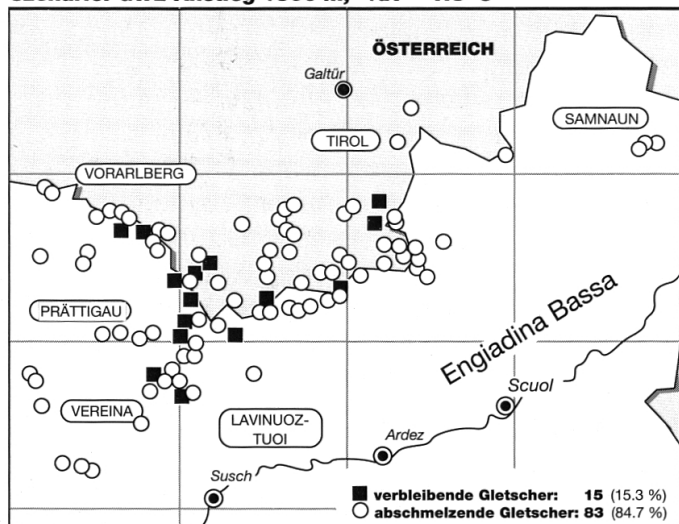
Szenario: GWL-Anstieg +100 m, +dT ~ 0.6°C



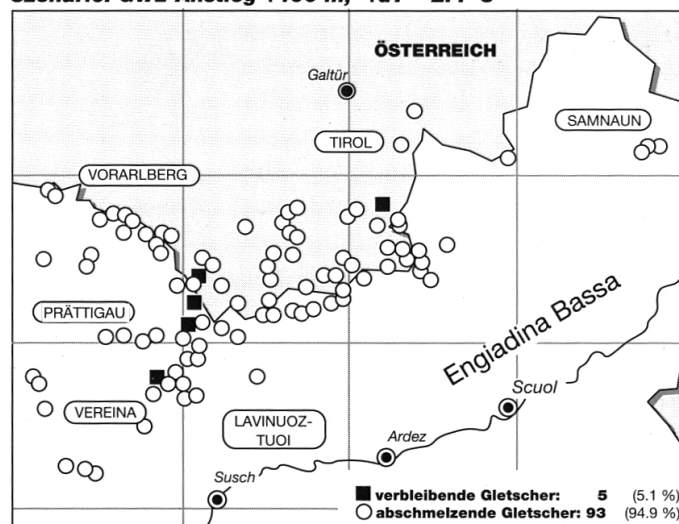
Szenario: GWL-Anstieg +200 m, +dT ~ 1.2°C



Szenario: GWL-Anstieg +300 m, +dT ~ 1.8°C



Szenario: GWL-Anstieg +400 m, +dT ~ 2.4°C



wenn sich die hypothetische Lage der neuen Gleichgewichtslinie oberhalb des höchsten Gletscherpunktes befindet.

Verstärkter Gletscherschwund im 21. Jahrhundert

Die vorgenommenen Berechnungen ergeben für die Gletscherregionen des Bündnerlandes, ja wohl des ganzen Alpenraums, ein wenig erfreuliches Zukunftsbild. Wenn sich die Klimaprognosen im Trend bewahrheiten und sich keine „natürlichen“ Abkühlungsphasen dazwischenschalten, wird es zu einem eigentlichen „Gletscher-

sterben“ mit deutlich beschleunigter Zerfallstendenz in der ersten Hälfte des nächsten Jahrhunderts kommen. Der Gletscherschwund wird sich dabei im

Tabelle 1: Klimaprognosen und Schneegrenzanstiegs-Szenarien für das 21. Jahrhundert

(δT) C	(δGWL) m	Szenario A	Szenario C
$\pm 0^\circ$	0	1990	1990
+0.6	+100	~2010	~2020
+1.2	+200	~2030	~2050
+1.8	+300	~2050	~2100
+2.4	+400	~2070	
+3.0	+500	~2090	
+3.6	+600	~2110	

Ausmass und der Dynamik regional differenziert abspielen. Heute nur noch schwach vergletscherte Gebirgsgruppen, wie etwa das Unterengadin oder die Region um den Oberalppass, werden dabei aus leicht verständlichen Gründen am schnellsten eisfrei (bereits bei Szenario +300 m). Die heute noch stärker und dichter vereisten Gebirgsstöcke, wie etwa die Bernina, das Tödi-Massiv und das Bergell werden vorerst etwas verzögert, dann aber ebenso beschleunigt auf die bevorstehende Klimaerwärmung reagieren. Steigen die Schneegrenzen um +100 m an (+0.6°C; Zeithorizont

A: 2010 oder C: 2020), werden gesamthaft ein Achtel der heutigen Gletscher und ein Viertel der Gletscherfläche des Bündnerlandes und der angrenzenden Gebirge verschwinden. Bei einem Schneegrenzanstieg von +200 m (+1.2° C) wird es im Bündnerland von den ursprünglich noch über 600 Gletschern nur noch deren 260 geben (Zeithorizont A: 2030 oder C: 2050). Beim Szenario +300 m (+1.8°) sind bereits über 80% der Gletscher und über 70% der heutigen Flächen abgeschmolzen (Zeithorizont A: 2050 oder C: 2100).

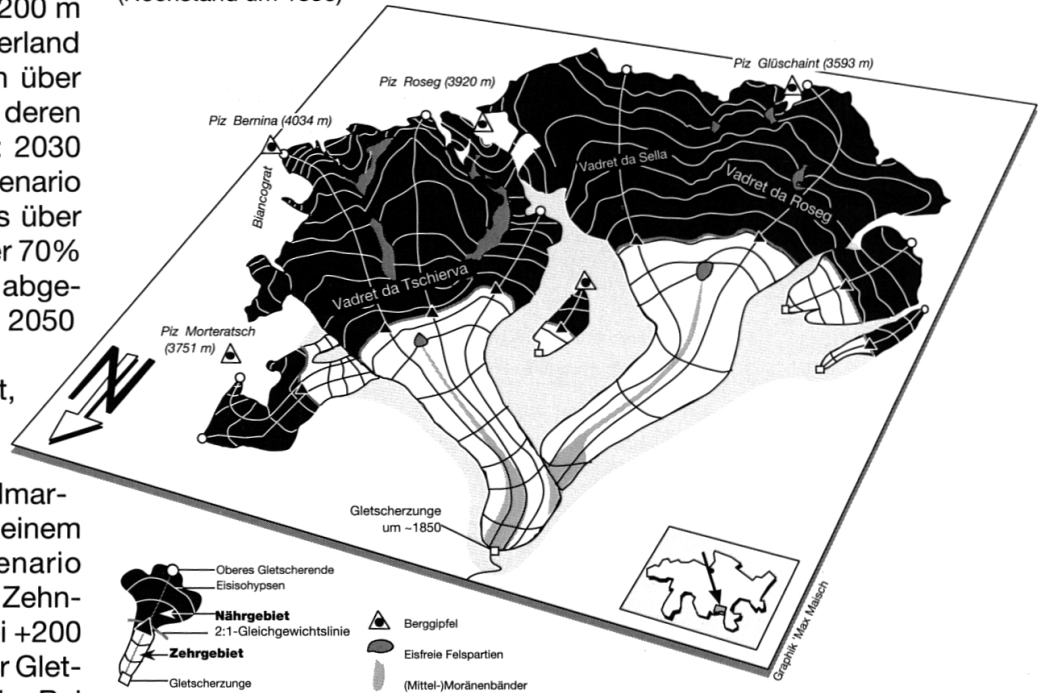
In Abb. 6 wurde versucht, den künftigen Gletscherzerfall in der Silvretta in vier Phasenbildern „trickfilmartig“ zu skizzieren. Bei einem Schneegrenzanstiegs-Szenario von +100 m werden hier ein Zehntel vor allem der kleinen, bei +200 m bereits über die Hälfte der Gletscher weggeschmolzen sein. Bei +300 m sind bereits über vier Fünftel der heutigen Eisflächen von der Landkarte verschwunden. Gegen Ende des nächsten Jahrhunderts werden nur noch kleine, unansehnliche und wohl stark verschmutzte Restgletscherflächen die einst erhabenen verfirnten Silvretta zieren.

Mögliche Folgewirkungen des Gletscherzerfalls

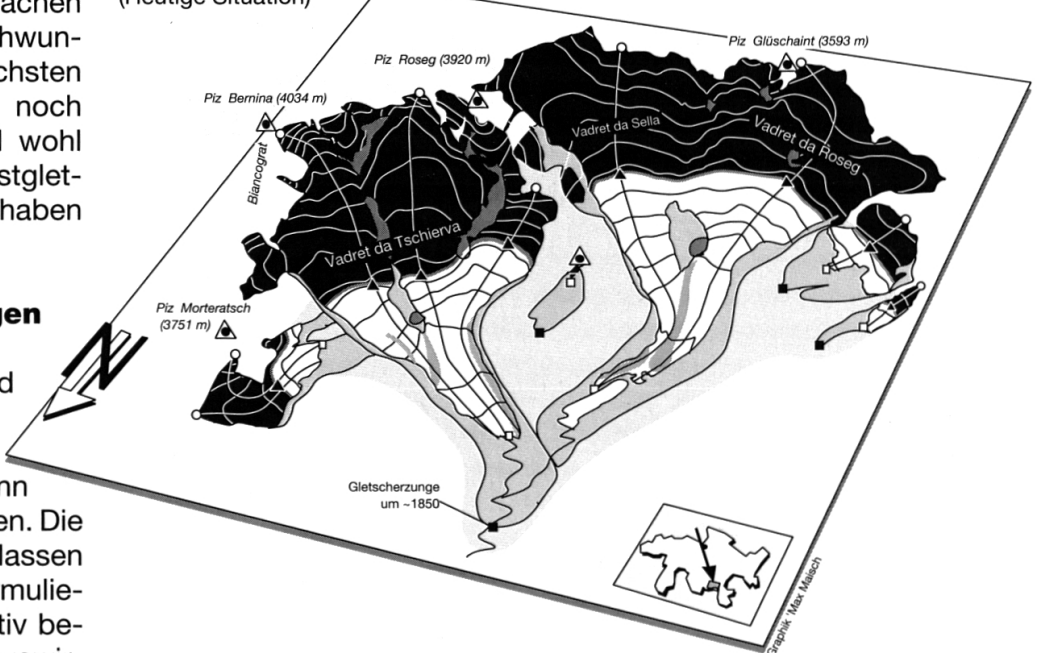
Über die ökologischen und auch ökonomischen Konsequenzen des voraussichtlichen Eiszerfalls kann vorerst nur spekuliert werden. Die meisten Folgewirkungen lassen sich erst als Hypothesen formulieren und höchstens qualitativ bewerten. Die spezifischen Auswirkungen der bevorstehenden Klimaverschiebung auf die verschiedenen Natursysteme und Kreisläufe werden gegenwärtig in zahlreichen Forschungsprojekten im Rahmen des NFP 31 detailliert untersucht. In Zusammenhang mit der Eisschmelze in den Hochgebirgsräumen der Alpen dürften

Abb. 7: Blockdiagrammdarstellungen des Tschierva- und Rosegletschers in den Zeiträumen "1850" (oben) und "Heute" (unten).

Roseg - und Tschiervagletscher (Hochstand um 1850)



Roseg - und Tschiervagletscher (Heutige Situation)



nach Meinung der Fachleute etwa folgende möglichen Veränderungsprozesse zu erwarten sein:

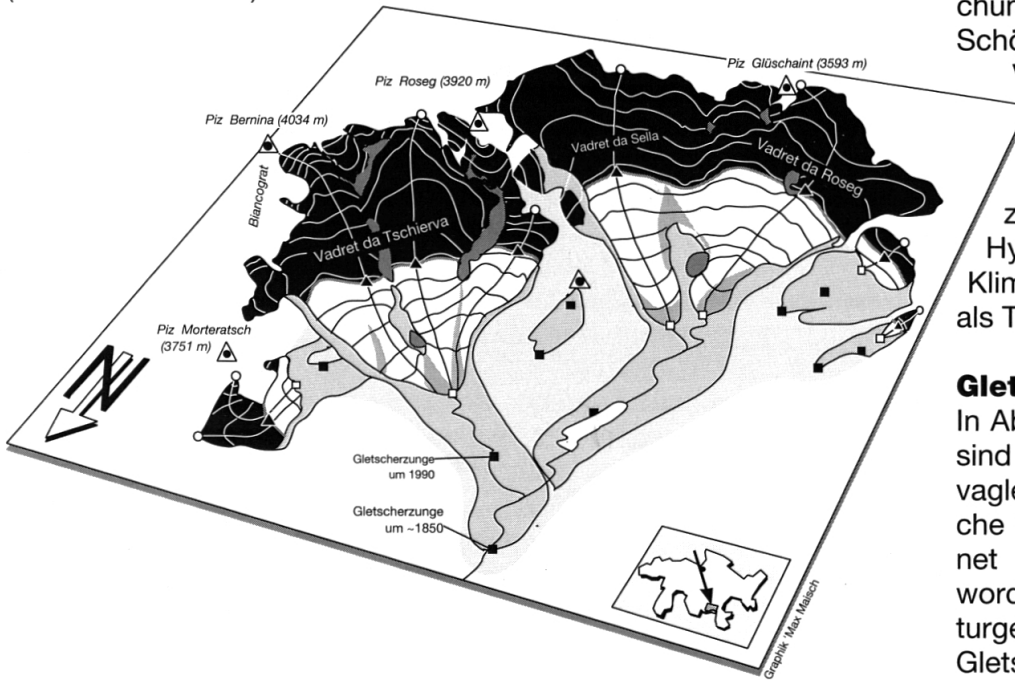
- Durch die Vergrößerung der Gletschervorfelder werden immer ausgedehntere und zusehends steiler werdende Gebiete mit unverfestigtem Lockermaterial zu potentiellen Liefergebieten für flu-

viale Abtragsprozesse (verstärkte Erosion).

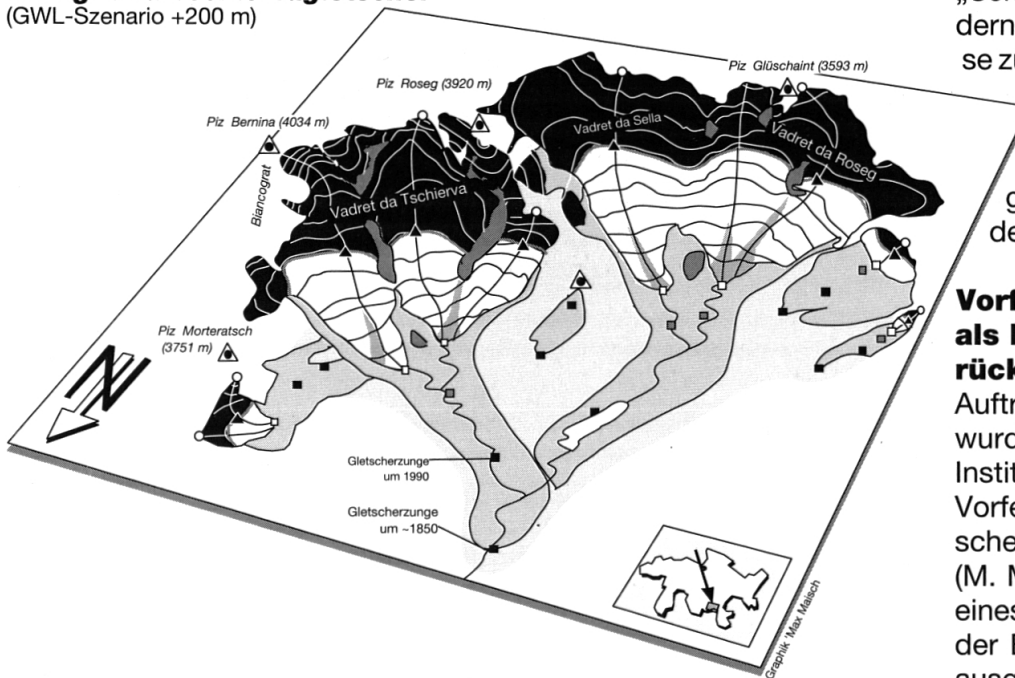
- Durch das Auftauen dauernd gefrorener Hänge oberhalb der alpinen Waldgrenze (sog. Permafrost) könnte es in den Periglazialregionen zumindest vorübergehend zu einer Destabilisierung ehemals festgefrorener Hangpar-

Abb. 8: Blockdiagrammdarstellungen des Tschier- und Rosegletschers in den GWL-Szenarien "+100 m" (oben) und "+200 m" (unten).

Roseg - und Tschiervagletscher
(GWL-Szenario +100 m)



Roseg- und Tschiervagletscher
(GWL-Szenario +200 m)



sehen Lagen unterhalb 1 200 m ü. M. für den Skitourismus zu nachteiligen Folgen führen könnte.

- Durch einen vollständigen und wohl endgültigen Gletscherzerfall würde nicht zuletzt ein Untersuchungsobjekt von faszinierender Schönheit und beeindruckender Vielfalt aus unseren Hochgebirgen verschwinden. Als bedauerlich und bedenklich ist dieser Vorgang dann zu bezeichnen, wenn sich die Hypothese der anthropogenen Klimabeeinflussung bald einmal als Tatsache herausstellen wird.

Gletscherschwundvisionen

In Abb. 7 und 8, sowie 9 und 10 sind für den Roseg- und Tschiervagletscher verschiedene mögliche Zukunfts-Szenarien berechnet und graphisch umgesetzt worden. Die resultierenden, naturgemäss sehr spekulativen Gletscherausdehnungen, sollen weniger als glaziologische „Schwarzmalerei“ beurteilt, sondern als „visionäre“ Denkanstösse zum gegenwärtigen Klimaproblem und dessen Folgewirkungen im Naturhaushalt der eisfrei werdenden Hochgebirgslandschaften verstanden werden.

Vorfeld Morteratsch als Lehrstück des Eisrückgangs

Auftrag der Gemeinde Pontresina wurde durch das Geographische Institut der Universität Zürich im Vorfeld des Morteratschgletschers ein Lehrpfad eingerichtet (M. Maisch et al., 1993). Anhand eines kleinen Begleitbuches wird der Besucher im Gelände an 20 ausgewählten Haltepunkten auf besonders typische Erscheinungen der Glazialwelt, der Geomorphologie und des Pflanzenkleides aufmerksam gemacht. Eine Wanderung durch die „Erlebniswelt Gletschervorfeld“ bietet so jedem Besucher die Möglichkeit, die Grossartigkeit, aber auch die Veränderlichkeit von Gletscherströ-

rien, z.B. in Schutthalden und Moränen, kommen (Rutschungen, Murgänge).

- Durch den Gletscherschwund ist zwar kurz- und mittelfristig eine Erhöhung des Schmelzwasseranfalls zu erwarten, der „Speichereffekt“ der Gletscher im hydrologischen Kreislauf wird aber

nach und nach abnehmen und mit dem Verschwinden der Gletscher ganz wegfallen.

- Durch eine Erwärmung (z.B. um +3° C) würde auch die mittlere Schneefallgrenze um ca. 200–400 m, die temporäre (winterliche) Schneegrenze sogar um 300–500 m ansteigen, was in kriti-

men und deren unmittelbaren Umgebung sukzessive abzuschreiten. Der Lehrpfad Morteratsch soll denn auch mit Nachdruck daran erinnern und dazu motivieren, dass die Bewahrung der Gletschervorfelder in ihrer natürlichen Ursprünglichkeit und ihrer beeindruckenden geomorphologischen, bodenkundlichen und botanischen Vielfalt uns allen ein echtes Anliegen sein sollte.

Ausblick

Dieser Beitrag fasst erste Resultate eines im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes NFP 31 („Klimaänderungen und Naturkatastrophen“) laufenden Teilprojektes zum Thema „Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Gletscher und deren Vorfelder“ zusammen. Im unmittelbaren geographischen Anschluss an die bündnerischen Gletschergebiete ist vorgesehen, nach ähnlicher Methodik auch die übrigen Gletscher der Schweizer Alpen zur Zeit des Hochstandes von 1850 aufzunehmen und in die bestehende Datenbank zu integrieren. Dank Unterstützung durch den Schweizerischen Nationalfonds wird es in etwa zwei Jahren möglich sein, ein umfassenderes Bild der Schweizer Gletscher und deren Verhalten in der „kühlen“ Vergangenheit, der „warmen“ Gegenwart und der womöglich „heissen“ Zukunft des 21. Jahrhunderts zu zeichnen.

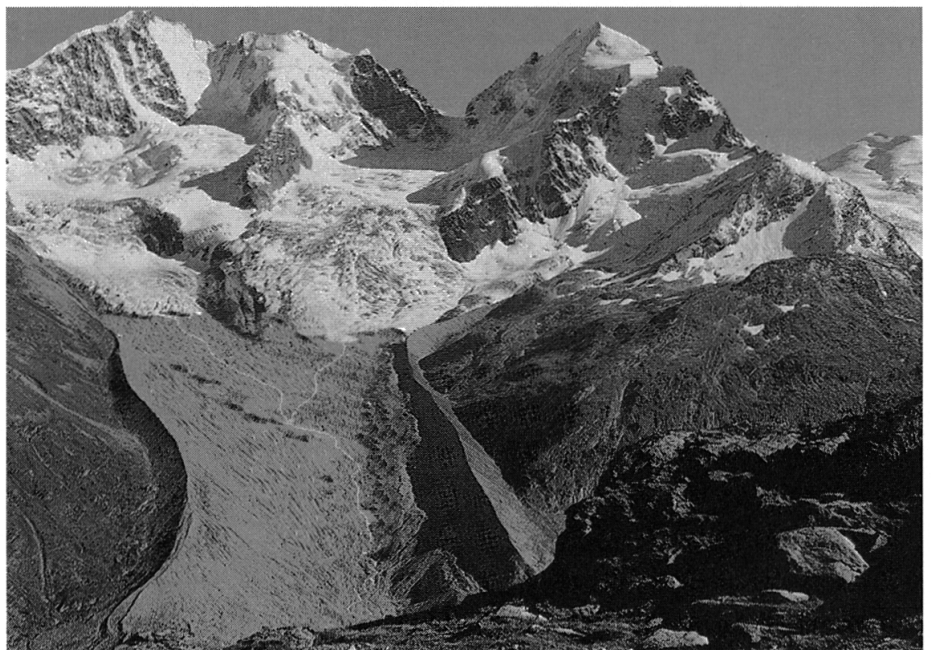
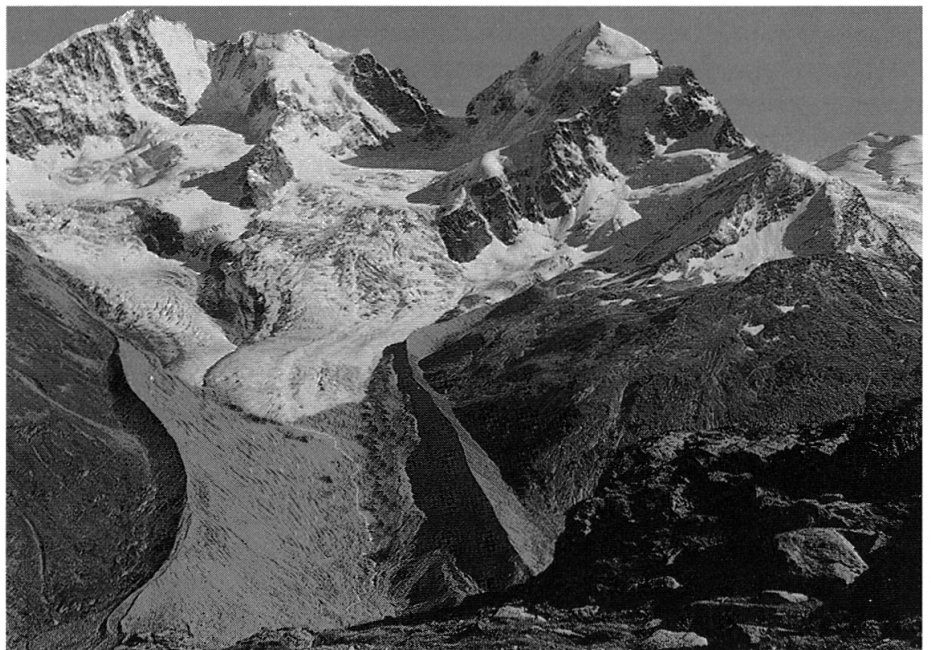


Abb. 9: Gletscherschwund-Visionen: Mögliche Ausdehnungen des Tschiervagletschers in den GWL-Szenarien „+100 m“ (oben) und „+200m“ (unten).

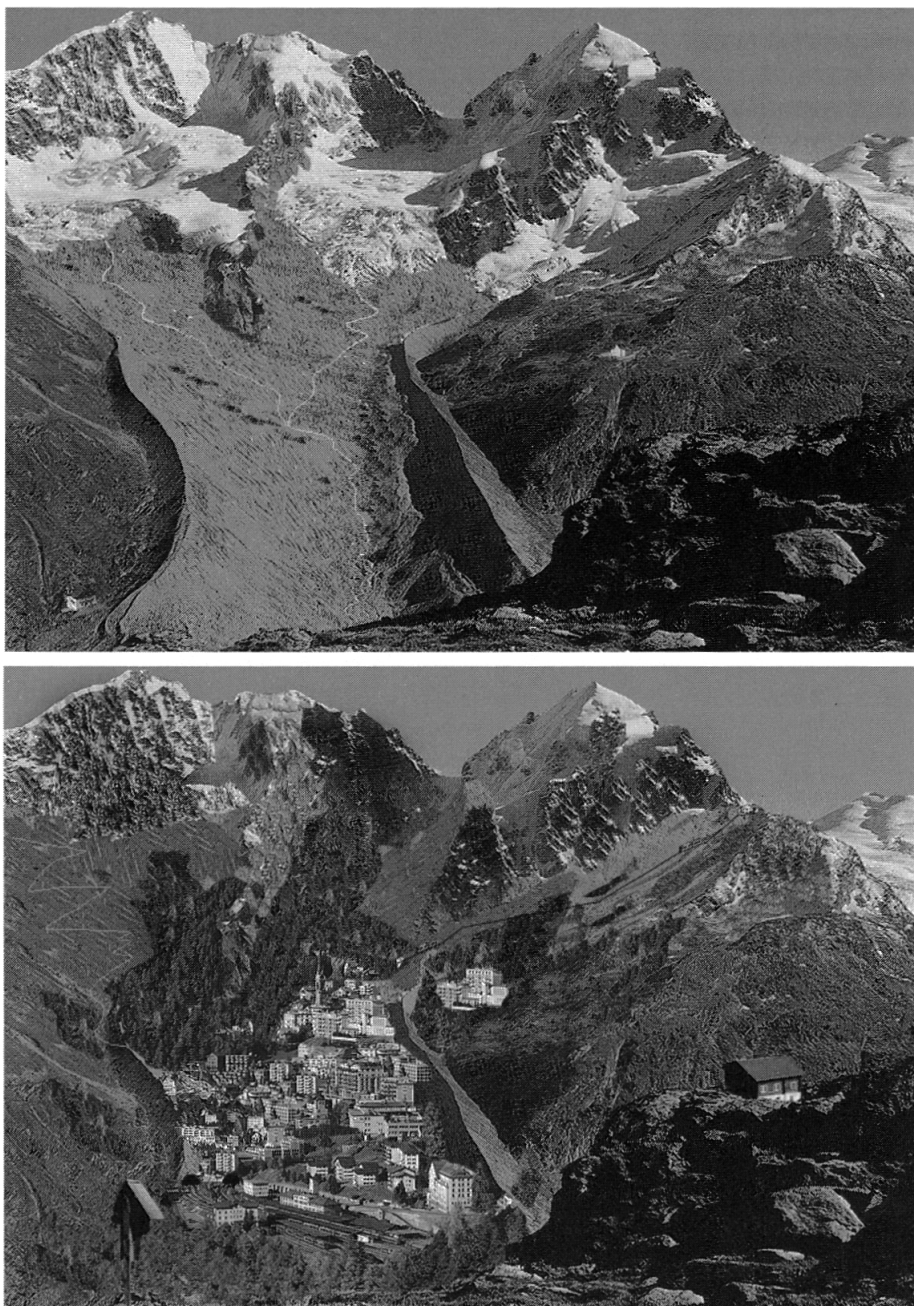


Abb. 10: Gletscherschwund-Visionen: Mögliche Ausdehnungen des Tschiergletschers in den GWL-Szenarien „+300 m“ (oben) und „Ende 21. Jh.“ (unten).

Literatur

HAEBERLI, W., 1991: Alpengletscher im Treibhaus der Erde. Regio Basiliensis, 32/2 1991, S. 59-72.

HOLZHAUSER, H., 1993: Gletscherschwankungen innerhalb der letzten 2700 Jahre am Beispiel des Grossen Aletsch- und des Gornergletschers. Neue Ergebnisse. SANW-Tagung in Verbier, Sept. 1993, Mittlg. der VAW/ETHZ. IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change), 1990: Climate Change. The IPCC Scientific Assessment of Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, XXXIX, 364 p.

KASSER, P., AELLEN, M. und SIEGENTHALER, H., 1986: Die Gletscher der Schweizer Alpen 1977/78 und 1978/79 (Jubiläumsband, 99. und 100. Bericht). Glaziologisches Jahrbuch der Gletscherkommission SNG, hrsg. von der VAW/ETHZ, 288 S.

KUHN, M., 1990: Klimaänderungen: Treibhauseffekt und Ozon. Tatsachen, Erklärungen und Zahlenbeispiele zur menschlichen Beeinflussung des Klimas durch Spurengase. Kulturverlag, Thaus/Tirol, 157 S.

MAISCH, M., 1992: Die Gletscher Graubündens. Rekonstruktion und Auswertung der Gletscher und deren Veränderungen seit dem Hochstand von 1850 im Gebiet der östlichen Schweizer Alpen. Teil A: Grundlagen-Analysen-Ergebnisse (320 S); Teil B: Verzeichnisse-Datenkataloge-Gletscherkarten (120 S.). Phys. Geographie, Vol. 33, Geogr. Institut der Univ. Zürich.

MAISCH, M., 1993: Gletscherschwundphasen im Zeitraum des ausgehenden Spätglazials (Egesen-Stadium) und seit dem Hochstand von 1850 sowie Prognosen zum künftigen Eisrückgang in den Alpen. SANW-Tagung in Verbier, Sept. 1993, Mittlg. der VAW/ETHZ.

MAISCH, M., BURGA, C.A. und FITZE, P., 1993: Lebendiges Gletschervorfeld. Von schwindenden Eisströmen, schuttreichen Moränenwällen und wagemutigen Pionierpflanzen im Vorfeld des Morteratschgletschers. Führer und Begleitbuch zum Gletscherlehrpfad Morteratsch. Geogr. Institut der Universität Zürich, Druck Engadin-Press.

MÜLLER, F., CAFLISCH, T. und MÜLLER, G., 1976: Firn und Eis der Schweizer Alpen, Gletscherinventar. ETH Zürich, Publ. Nr. 57 und 57a.

Nationales Forschungsprogramm NFP 31: Klimaänderungen und Naturkatastrophen (verschiedene Unterlagen und Arbeitspapiere). Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, Wildhainweg 20, 3001 Bern.

ZUMBÜHL, H.J. und HOLZHAUSER H., 1988: Alpengletscher in der Kleinen Eiszeit. In: Die Alpen. Zeitschrift des Schweizer Alpen-Clubs S.A.C., Sonderheft zum 125. Jubiläum des S.A.C., erschienen 1989, S. 129-322.

Adresse des Autors: PD Dr. M. Maisch, Geogr. Inst. Univ. Zürich, Winterthurerstrasse 190, 8057 Zürich

R Regress augmentà dals gletschers en las Alps grischunas

A partir da la mesadad dal davos tschientaner, da la fasa finala dal „temp glacial pitschen“, sa chattan ils gletschers dal Grischun, gea schizunt quels da las Alps en general, en ina fasa regressiva marcanta. La diminuziun da la surfatscha per radund 40 pertschient dapi „l'avanzament maximal dal 1850“ e las davos stads excepziunalmain chaudas sveglian dumondas brisantas davart la raschun e las consequenzas da quest fenomen. Quant svelt e tenor tge reglas da la natira sa reduceschan ils gletschers dal Grischun, sch'il clima sa stgaurda vinavant en tala moda? E tge consequenzas vegn „l'effect da serra augmentà“ ad avair per la natira e l'uman?

En ina voluminusa lavur glaziologica da l'Institut geografic da l'università da Turitg han ins inventarisà tut las surfatschas glazialas en il Grischun ed en las regiuns muntagnardas confinantas e valità sistematicamain tut las midadas a partir dal 1850. Sin fundament da quests resultats han ins pudì far per l'emprima giada prognosas precisas e glaziologicamain fundadas davart il digren futur dals gletschers en las Alps. Ins ha medemamain pruvà da visualisar en divers

scenaris las previsiuns per il regress dals gletschers e las midadas probablas en la cuntrada alpina.

Il crescente ritiro dei ghiacciai nelle Alpigrionesi

Dalla metà del secolo scorso, fase finale della „piccola era glaciale“, le masse glaciali dei Grigioni, così come quelle delle Alpi in generale, stanno subendo una fase di ritiro notevole. Si sollevano inquietanti interrogativi circa quali siano le cause di questo fenomeno, e le relative conseguenze, dopo aver osservato un forte ritiro delle masse glaciali al di sotto del „livello del 1850“, e dopo aver sperimentato, negli ultimi anni, estati calde superiori alla media. In quanto tempo e con quale regolarità si ritireranno in futuro i ghiacciai dei Grigioni, se la tendenza continuerà verso un progressivo riscaldamento del clima? E quali saranno gli effetti del „crescente effetto-serra“ per la natura e per l'uomo?

In un vasto studio sui ghiacciai compiuto dall'Istituto Geografico dell'Università di Zurigo sono state catalogate tutte le superfici glaciali dei Grigioni e delle zone montane limitrofe, e sono state analizzate sistematicamente le loro mutazioni dal 1850. Partendo da queste basi è stato per la prima volta possibile formulare previsioni precise e fondate circa una futura scomparsa dei ghiacciai delle Alpi. Contemporaneamente si è cercato di visualizzare, sotto forma di diversi schizzi, lo scenario alpino conseguente alle varie ipotesi di ritiro dei ghiacciai, e le relative modificazioni in alta montagna.

F Accélération du retrait des glaciers dans les Alpes grisonnes

Depuis le milieu du siècle dernier – la fin de la „Little Ice Age“ – les glaciers des Grisons, et ceux des Alpes d'une manière générale, se retirent de manière accélérée. La diminution de 40% depuis 1850, époque où les glaciers avaient atteint leur extension maximale, ainsi que les étés très chauds de ces dernières années ont soulevé de nombreuses questions quant aux causes et aux conséquences futures. A quelle vitesse et selon quelles lois les glaciers des Grisons vont-

ils continuer à se retirer si la tendance au réchauffement climatique se poursuit? Et quelles seront les conséquences d'une augmentation de l'effet de serre pour la nature et l'homme?

Dans le cadre d'une étude approfondie sur les glaciers réalisée à l'institut de géographie de l'université de Zurich, toutes les surfaces de glaciers des Grisons et des régions limitrophes ont été inventoriées, et leur évolution depuis 1850 a été analysée systématiquement. Sur la base de ces données il a, pour la première fois, été possible de faire des prédictions précises et scientifiquement fondées sur la „mort des glaciers“ dans les années à venir. On a aussi essayé de visualiser à l'aide de différents scénarios les pronostics relatifs à la disparition des glaciers ainsi que les changements qui s'ensuivraient dans les paysages de haute montagne.

E Increased disappearance of glaciers in the Alps of Graubünden

Since the middle of last century, at the end of the „Little Ice age“, the glaciers of Graubünden, and of the Alps in general, have retreated in an accelerated way. The retreat amounting at about 40% since the time of maximum extension in 1850 and the extremely hot summers of the past few years have lead to many questions about causes and future consequences. How fast and according to what laws are the glaciers of Graubünden going to decrease if the climatic warming up continues? What are the consequences of the greenhouse effect going to be for nature and humans?

A study at the institute of geography of the university of Zurich has been devoted to the glaciers of Graubünden and neighbouring regions: all glacier surfaces have been censused and their evolution since 1850 monitored and systematically analyzed. On the basis of these data it was possible for the first time to make precise and scientific predictions on the future disappearance of glaciers and on its consequences in the high altitude landscapes of the Alps. This was visualized with different scenarios.