

ZUM NEUZEITLICHEN, GEGENWÄRTIGEN UND ZUKÜNFTIGEN GLETSCHERSCHWUND IN GRAUBÜNDEN

1. Gletscherhochstand 1850

Die sich meist bestechend deutlich abzeichnenden Dimensionsverluste der Gletscher seit dem "Hochstandsereignis von 1850" (Endphase des "Little Ice Age" oder der "Neuzeitlichen Gletscherhochstandsphase") gehören in ihrem Ausmass zu den sichtbarsten Anzeichen der generell feststellbaren und global wirksamen Erwärmungstendenz. Die grosse geomorphologische und klimahistorische Bedeutung der "1850er-Vorstossphase" im Rahmen der neuzeitlichen und postglazialen Gletschergeschichte sowie die Gefahr einer zunehmender Akzentuierung ökologischer Probleme als Folge der prognostizierten Klimaerwärmung (anthropogen verstärkter Treibhauseffekt) gaben den Anstoss, die Gletscherausdehnung von 1850 und die Gesetzmässigkeiten der seither eingetretenen Veränderungen detaillierter zu untersuchen (vgl. M. MAISCH, 1991). Dazu wurde im Gebiet des Bündnerlandes und der unmittelbar daran angrenzenden Gebirgsregionen in den letzten Jahren ein flächendeckendes Inventar des Gletscherhochstandes von 1850 und der aktuellen, auf den Datengrundlagen des Schweizerischen Gletscherinventars beruhenden Vergletscherung erstellt (Basisjahr "1973"). In den elf Gebirgsregionen des Untersuchungsgebietes wurden rund 700 Gletscher mit einer 1850er-Mindestfläche von 0.03 km² (3 ha) erfasst, inventarisiert. Pro Gletscher wurden insgesamt rund 50 verschiedene quantitative und qualitative Parameter erhoben und in einer Datenbank abgespeichert. Neben der Dokumentation wurden aus den Datensätzen auch die glaziologischen Veränderungen im Zeitraum zwischen den beiden gewählten Bezugsjahren "1850" und "1973" erfasst und statistisch ausgewertet.

2. Gletscherschwund seit "1850" bis "Heute"

Für den Zeitraum des Gletscherhochstandes von 1850 konnte im Grossraum Bündnerland eine Gesamtgletscherfläche von insgesamt rund 465 km² rekonstruiert werden. Davon sind bis ins Bezugsjahr 1973 noch rund 280 km² übriggeblieben. Der grossregionale Verlustbetrag von 185 km² entspricht damit annähernd 40% der ursprünglichen Gletscherfläche. Mindestens 10% der um 1850 noch vorhandenen vorwiegend kleineren Gletscher sind im Zuge der Erwärmung bereits ganz verschwunden. Das Ausmass der absoluten Flächenschwundbeträge korreliert dabei direkt proportional, dasjenige des prozentualen Flächenschwundes umgekehrt proportional mit der ursprünglichen Gletschergrösse und hängt ursächlich mit der vertikalen Höherer Streckung und der ursprünglichen Flächen-Höhenverteilung zusammen. Der Rückgang der Gletscher im Zeitraum seit 1850 verlief bekanntlicherweise nicht linear, sondern kann in die Vorstoss-Phasen um "1890", "1920" und "1965-1985" unterteilt werden.

Gesamthaft betrachtet sind im Zeitraum "1850"-1890" rund 40%, zwischen "1850" und "1920" rund 45% und zwischen "1920" bis "1965" rund 55% des seit 1850 feststellbaren Schwundes eingetreten. Die Netto-Änderungen im jüngsten, anfänglich noch durch deutliches Wachstum, seit Mitte der 80er-Jahre aber wieder durch generelle Schwundtendenz gekennzeichneten Zeitraum "1965" bis "1991" sind gesamthaft als nur geringfügig zu erachten.

Die "Gletscherschneegrenzen" oder "2:1-Gleichgewichtslinien" der untersuchten Gletscher (AAR-Verhältnis 0.67) zeigen sowohl für "1850" wie auch für "1973" grossräumig betrachtet eine etwa senkrecht zur Hauptstreichrichtung der Alpen, von den niederschlagsreicheren Randgebieten gegen die inneralpinen Trockenzonen ansteigende Tendenz. Die höchstgelegenen Schneegrenz- und Gletscherlagen können dabei im Gebiet des Bernina-massivs und der Unterengadiner Dolomiten beobachtet werden. Die geographische und vertikale Verteilung der Schneegrenzen zeichnet damit in den Grundzügen den Effekt der "Massenerhebung" nach. Expositionsbedingte, topographische und lokalklimatische Besonderheiten führen aber sekundär zu lokal und regional stark abweichenden Schneegrenzwerten und Schneegrenzhöhen-Gradienten (z.B. im Bergell). Die Schneegrenz-Anstiegsbeträge, als integrierendes Mass für die Klimaänderung seit 1850 zu betrachten, liegen im Mittel aller untersuchten Gletscher in der Grössenordnung von 80 Metern. Daraus kann aufgrund der Gletscherreaktion indirekt eine Temperaturerhöhung von 0.4 - 0.6°C abgeleitet werden. Das Ausmass der glaziologisch und daher indirekt rekonstruierten Temperaturänderung steht dabei in gutem Einklang mit direkt nachgewiesenen Klimaverschiebungen seit der Mitte des letzten Jahrhundert. Regional leicht erhöhte Anstiegsbeträge in den Gebirgsgruppen Bernina, Bergell und Rheinwald können sehrwahrscheinlich durch ein im Südlagenbereich erhöhtes Niederschlagsabgebots zur Zeit des 1850er-Hochstandes erklärt werden.

3. Gletscherschwund-Szenarien

Auf der Grundlage der heute verfügbaren Klimamodell-Voraussagen (Temperaturanstiegs-Prognosen) wurden mit Hilfe der vorhandenen Datengrundlagen etappenweise und regional differenzierbare Gletscherschwund-Szenarien entwickelt. Die für den Zeitraum des nächsten Jahrhunderts prognostizierten Temperaturanstiegswerte wurden dazu für die Abschätzung der Gletscherreaktion unter vereinfachenden Annahmen direkt in Schneegrenzanstiegswerte umgerechnet (100 m-Schritte). Die langfri-

*Max Maisch, Dr., Geographisches Institut
der Universität Zürich, Winterthurerstrasse 190,
8057 Zürich*

stigen Auswirkungen auf den Massenhaushalt wurden sodann durch die Auswertung der hypsographischen Kurven sämtlicher Einzelgletscher abgeschätzt und nach regionalen Gesichtspunkten gruppiert und aufsummiert. Daraus konnten für jede Szenariostufe in regionalen Übersichten die Anzahl der verbleibenden bzw. wegschmelzenden Gletscher, die jeweiligen Flächen und deren Änderungen sowie auch die zeitliche Dynamik dieser "Entgletscherung" berechnet werden (vgl. Fig. 1).

Die in den untenstehenden Kartogrammen im chronologischen Ablauf dargestellten Szenarien belegen eindrücklich, dass die "Heute" (d.h. "1991") noch vorhandenen Gletscher unter den hier zugrundegelegten Rahmenbedingungen im Intervall von +100 m bis +300 m Schneegrenz-Anstieg (dies entspricht einem erwarteten Temperaturanstieg von rund +1 bis +2°C) eine deutlich beschleunigte Zerfallstendenz zeigen werden (vgl. Fig. 2-6). Der Zeitpunkt des verstärkten und maximalen Gletscherrückgangs fällt dabei, den Temperaturprognosen folgend, bereits in das erste Drittel des nächsten Jahrhunderts. Dann (ca. im Jahr ~2035) werden anzahlmässig nur noch knapp ein Fünftel aller Gletscher und nur noch etwa ein Drittel der heutigen Gletscherfläche vorhanden sein. Die bekannten Bündner Sommerskigebiete (Diavolezza, Corvatsch, Vorab) dürften spätestens unter diesen Klimabedingungen kaum mehr existieren und sich wohl viel früher schon einer touristischen Nutzung entzogen haben. Bereits um die Mitte des nächsten Jahrhunderts (erwarteter Temperaturanstieg um +1.5 bis +3°C) werden nur noch knapp ein Zehntel der Gletscher und etwa ein Sechstel der heutigen Gletscherflächen übriggeblieben sein.

Der "Zerfallsprozess" sowie das Ausmass der räumlichen, glaziologischen und hydrologischen Folgewirkungen hängen dabei aus leicht verständlichen Gründen unmittelbar von der Ausgangsgrösse der vorhandenen und verbleibenden Gletscher sowie von der Vergletscherungsdichte der einzelnen Regionen ab. Weniger stark vereiste Regionen (Unterengadin, Oberalp) werden dabei wesentlich schneller ausapern als stärker vergletscherte Gebirgsgruppen, die erst mit Verzögerung aber dann ebenso deutlich auf die erwartete Klimaerwärmung reagieren (Bernina, Tödi, Bergell). Nur grössere Tal- und Gebirgsgletscher mit genügend weit hinaufreichenden Nährgebieten dürften bei der hier angenommenen Klimaentwicklung das nächste Jahrhundert überdauern (z.B. Morteratsch-, Roseg-, Tschierva, Biferengletscher). Durch die allgemeine Gletscherrückgangstendenz wird es komplementär zu einer ebenso beschleunigten Vergrösserung der schuttreichen und meist noch instabilen Gletschervorfeldareale kommen. Dies dürfte nach allgemeiner Ansicht zu einer Zunahme der fluvialen Dynamik und damit der potentiellen Gefährdung von exponierten Siedlungsflächen und Talräumen führen (z.B. Murgangaktivität infolge gehäufter Witterungs-Extremereignisse).

Damit wird die vorhergesagte, den natürlichen Klimaverlauf überlagernde anthropogene Erwärmung auch aus der Sicht der schwindenden Gletscher zu einer Zunahme

der ökologischen Sensitivität alpiner Hochgebirgsräume führen und zudem nicht unwesentliche und vielleicht sogar irreversible landschaftsästhetische Veränderungen nach sich ziehen.

LITERATUR (Auswahl)

BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1991): *Ursachenanalyse der Hochwasser 1987, Schlussbericht. Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdept. EDI, Mittlg. des Bundesamtes für Wasserwirtschaft Nr. 5, 47 S.*

HAEBERLI, W., MÜLLER, P. ALEAN, P. and BÖSCH, H. (1989): *Glacier changes following the Little Ice Age - A survey of the international data basis and its perspective. In: Oerlemans, J. (ed.): Glacier fluctuations and climatic change, pp. 77-101.*

HAEBERLI, W. (1990): *Glacier and permafrost signals of 20th-century warming. Annals of Glaciology 14, pp. 99-101.*

HAEBERLI, W. (1991): *Alpengletscher im Treibhaus der Erde. Regio Basiliensis, Sonderbd. Dt. Geographentag 1991, Basel, S. 59-72.*

MAISCH, M. (1988): *Die Veränderungen der Gletscherflächen und Schneegrenzen seit dem Hochstand von 1850 im Kanton Graubünden (Schweiz). Zeitschr. für Geomorphologie, N.F., Suppl.-Bd. 70, S. 113-130.*

MAISCH, M. (1991, in Vorb.): *Die Gletscher Graubündens. Rekonstruktion und Auswertung der Gletscher und deren Veränderungen seit dem Hochstand von 1850 im Gebiet der östlichen Schweizer Alpen (Bündnerland und angrenzende Regionen). Teil A: Grundlagen-Analysen-Ergebnisse, 320 S.; Teil B: Verzeichnisse-Datenkataloge-Karten. Physische Geographie, Vol. 33, Univ. Zürich, 130 S.*

PATZELT, G. (1987): *Die gegenwärtigen Veränderungen an Gebirgsgletschern der Erde. Frankfurter Beiträge zur Didaktik der Geographie, Bd. 10: Hochgebirge. Ergebnisse neuer Forschungen, S. 41-50.*

PATZELT, G. und AELLEN, M. (1990): *Gletscher. Int. Fachtagung über Schnee, Eis und Wasser der Alpen in einer wärmeren Atmosphäre, 11. Mai 1990 in Zürich. Mittlg. der VAW-ETH-Zürich Nr. 108, S. 49-69.*

VAW-ETH-Zürich, EISL-Davos und GEOGR. INSTITUT-ETH-Zürich (Organis.), (1990): *Int. Fachtagung über Schnee, Eis und Wasser der Alpen in einer wärmeren Atmosphäre, 11. Mai 1990 in Zürich. Mittlg. der VAW-ETH-Zürich Nr. 108, 135 S.*

Fig. 2-6

Gletscherschwund-Szenarien Bündnerland: Dargestellt sind in einer schrittweisen zeitlichen Abfolge das räumliche Muster und die Veränderungen der vorhandenen (bzw. verbleibenden) und der wegschmelzenden Gletscher (nach Anzahl) im Verlaufe der verschiedenen Klimaerwärmungs- und Schneegrenzanstiegs-Szenarien.

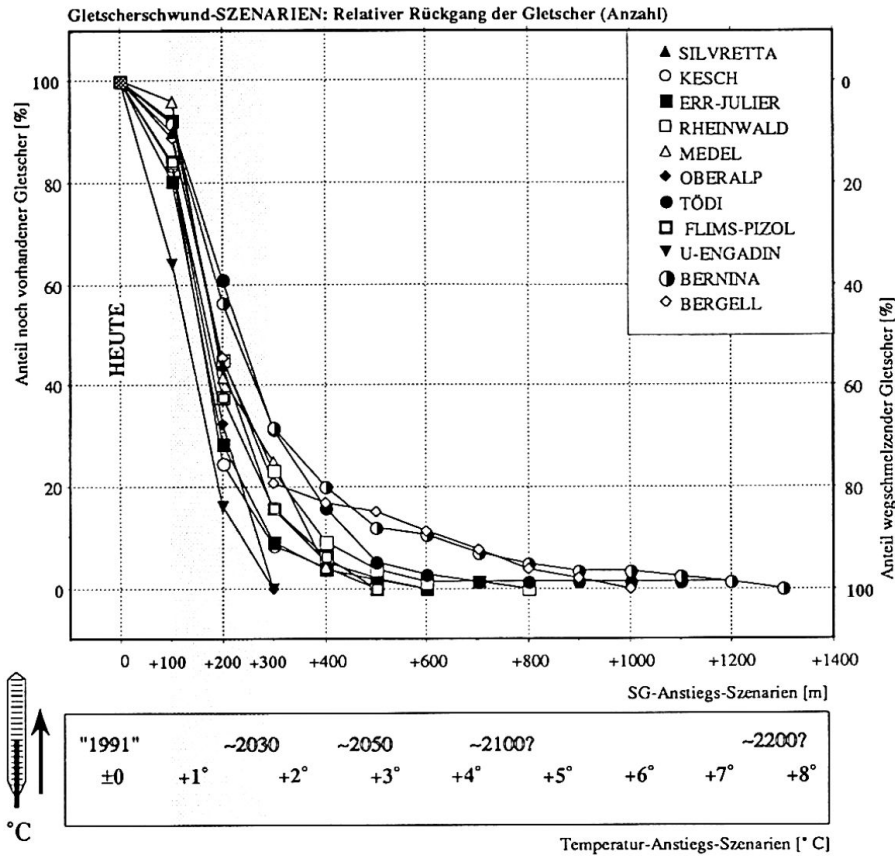


Fig. 1

Gletscherschwund-Szenarien Bündnerland: Dargestellt ist der prozentuale Rückgang der Gletscher (nach Anzahl) in den einzelnen Gebirgsgruppen im Rahmen der angenommenen Klimaerwärmungs- und Schneegrenzanstiegs-Szenarien.

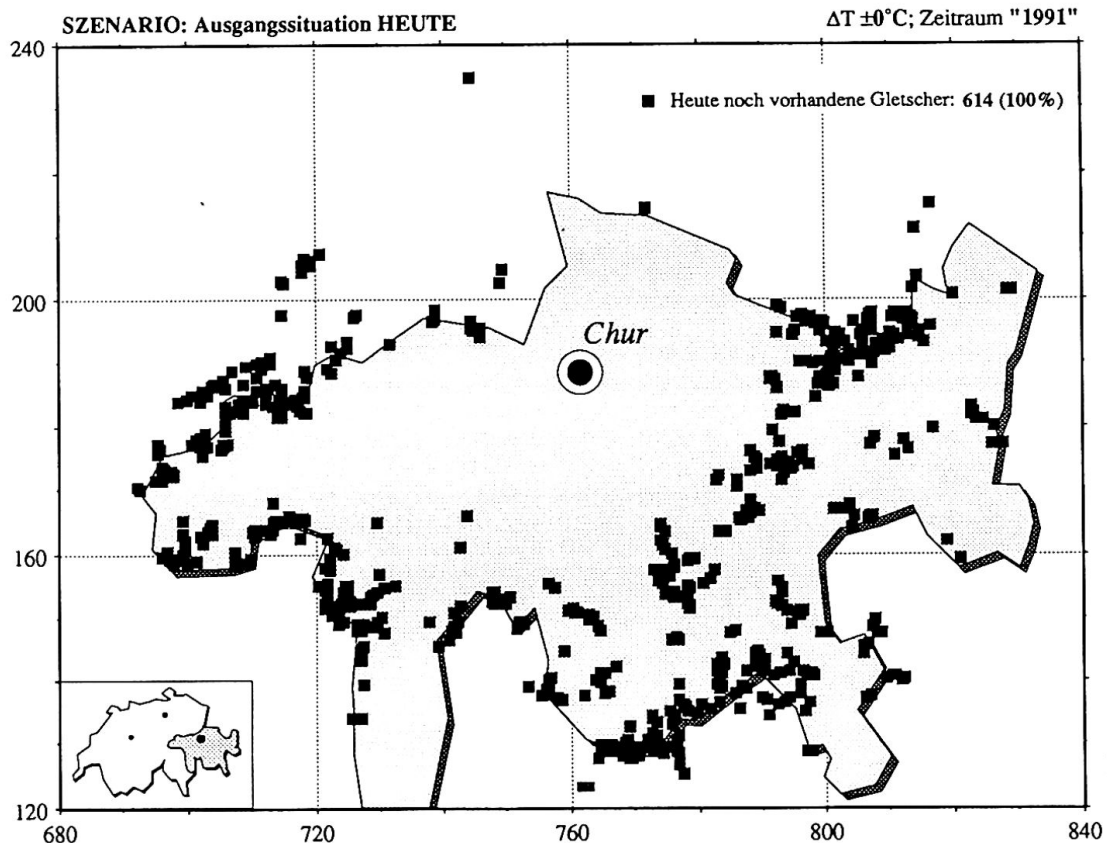


Fig. 2

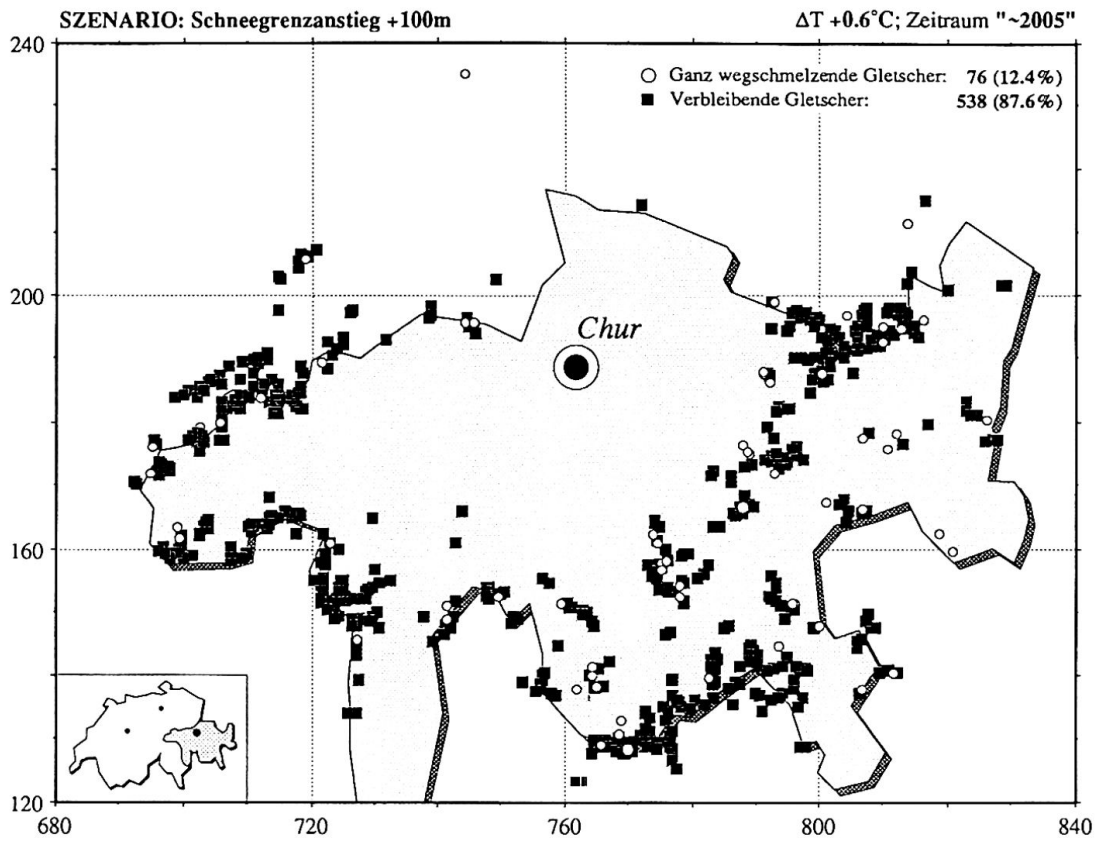


Fig. 3

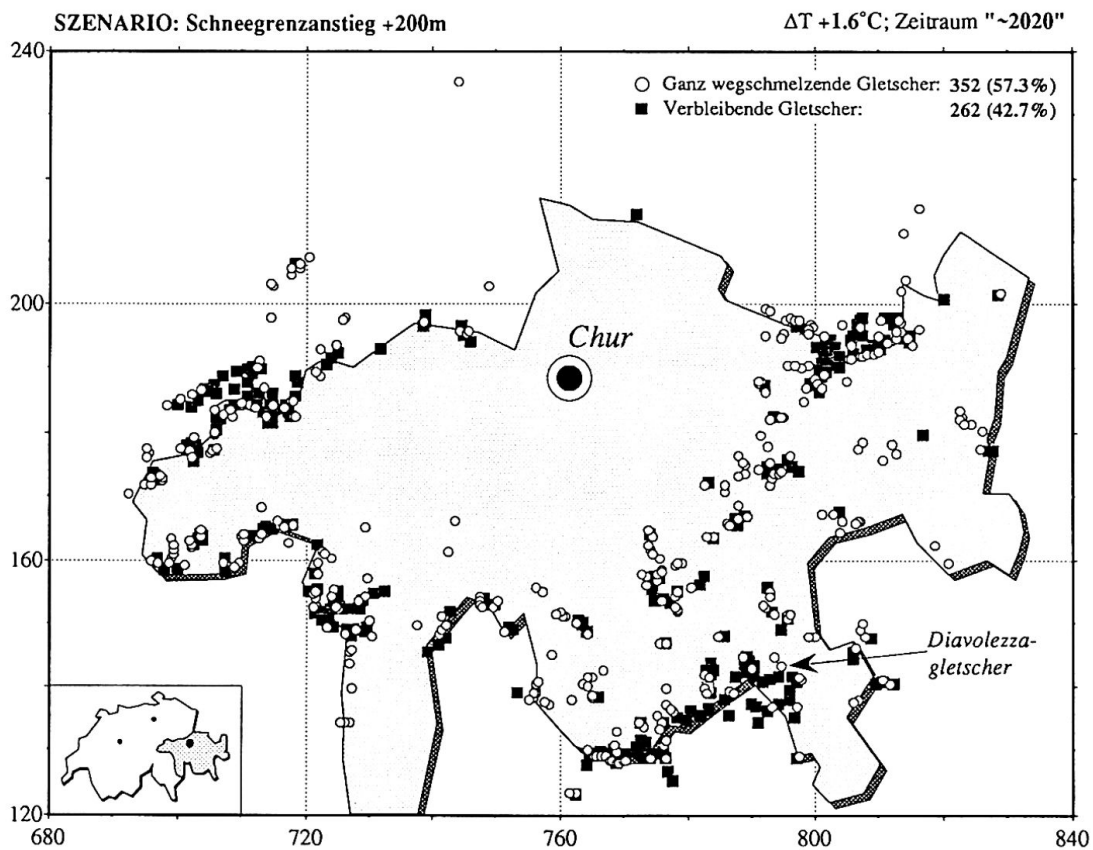


Fig. 4

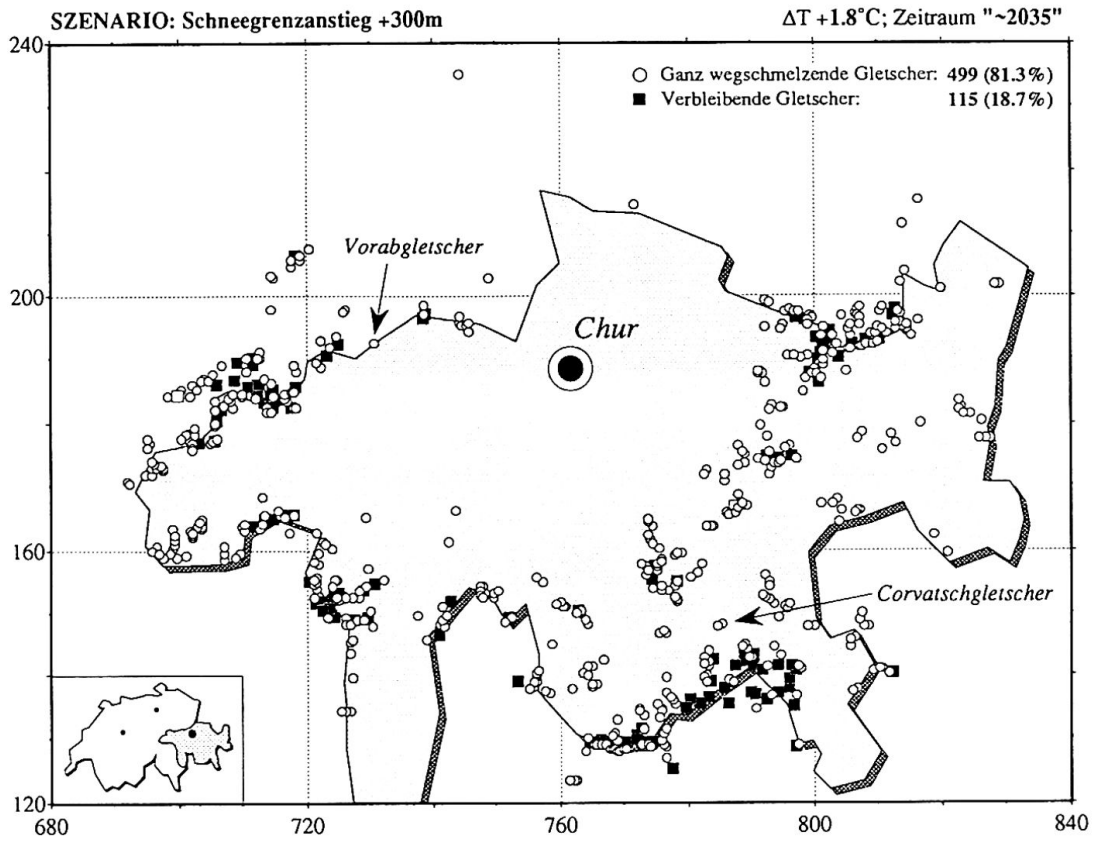


Fig. 5

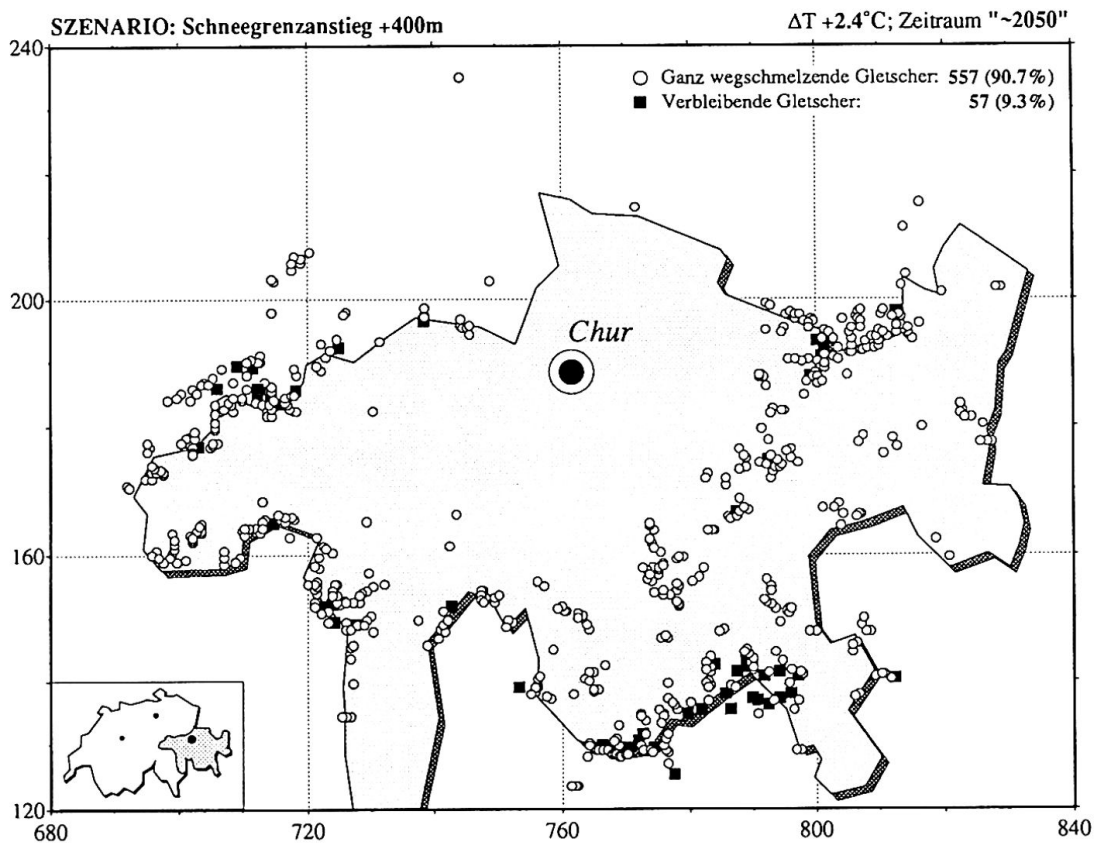


Fig. 6