

Zeitschrift: Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft Bern
Herausgeber: Geographische Gesellschaft Bern
Band: 61 (2003)

Artikel: Schwankungen der Alpengletscher im Wandel von Klima und Perzeption
Autor: Haeberli, Wilfried / Zumbühl, Heinz J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-960315>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

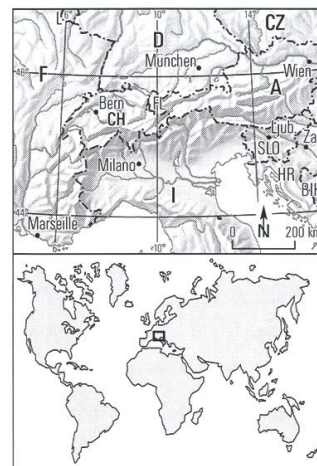
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.01.2026

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

Schwankungen der Alpengletscher im Wandel von Klima und Perzeption

WILFRIED HAEBERLI, HEINZ J. ZUMBÜHL



Einleitung

Seit Jahrhunderten üben Gletscher auf Menschen eine starke Faszination aus. Das leuchtende Weiss der «ewigen Firne» als Symbol im Mythos Alpen für lockende, reine, unberührte, wilde, unbezähmbare, dem Himmel nahe, zur Bewährung herausfordernde, Wasser und Leben spendende, heile und heilende Natur bleibt ein markantes Element historischer wie modern-kapitalisierter Bergromantik. In die Nähe menschlicher Siedlungen vorrückende und zurückschmelzende Gletscherzungen liefern andererseits aussergewöhnlich klare Signale über Veränderungen in der Umwelt. Der Diskurs über diese für alle leicht erkennbaren Vorgänge hat durchaus weltanschauliche Dimensionen. Er führt aus dem Antagonismus von Angst und Faszination der frühesten Zeit über die heftig umstrittene Erkenntnis der Eiszeiten und die Ablösung des traditionellen christlichen Schöpfungsbildes in der Zeit von Louis Agassiz zur nicht minder grundsätzlichen Frage nach dem Einfluss des Menschen auf das zukünftige Klima als Lebensgrundlage der Menschheit und damit zur Frage nach der Solidarität mit kommenden Generationen. Romantische Betrachtung und wissenschaftliche Analyse durchdringen sich dabei gegenseitig: mit den Änderungen der Gletscher einher geht nicht nur ein offensichtlicher Anstieg der atmosphärischen Temperatur, sondern vor allem auch eine beschleunigende Entwicklung von Gesellschaft und Forschung. Am deutlichsten sichtbar wird der Wandel in der Perzeption des halt doch nur «mehr oder weniger ewigen» Eises bei den Alpengletschern, wo die historische Nachbarschaft zwischen Mensch und Gletscher besonders eng ist. Die folgenden Gedanken skizzieren in einem kurzen Streifzug durch die letzten Jahrhunderte einige wichtige Stationen dieser Auseinandersetzung.

Bedrohung und erwachendes Interesse am «Eismeer»

In den adeligen Urkunden des Klosters Interlaken im 12./13. Jahrhundert wird der Untere Grindelwaldgletscher zur Abgrenzung von Territorien herangezogen. Die Eismassen haben damals vermutlich bis in den Talboden gereicht, verweisen damit auf eine grosse Ausdehnung und bildeten bei weiteren Vorstössen eine Bedrohung der Talbevölkerung. Der bei verschiedenen Alpengletschern beobachtete langandauernde Vorstoss an der Wende vom 16./17. Jh., d.h. dem zweiten Maximum der Kleinen Eiszeit, führte z.B. in Grindelwald zur Zerstörung von landwirtschaftlich genutzter Fläche, was die Talbewohner veranlasste Zinsnachlassgesuche an den Berner Rat zu senden (ZUMBÜHL 1980). Eine noch

wesentlich grössere Bedrohung bildeten die raschen Vorstösse (Surges) des Vernagtferners im hinteren Ötztal (17. Jh.), war doch hier die ganze Talschaft durch den Ausbruch eines Eisstausees akut gefährdet (NICOLUSSI 1990/93). Eine damals vom Kaiser eingesetzte Kommission schuf die vermutlich ersten genaueren Planveduten eines Gletschers in den Alpen (1601, 1678 und 1681). Fast gleichzeitig (1606) wurde der Vorstoss des Unteren Grindelwaldgletschers bildhaft in einem Riesensonett «Poetisch Gastmal und Gespräch zweyer Bergen» (Niesen und Stockhorn) – einer Art Lehrgedicht von Pfarrer H. R. REBMANN (1606: 201) – beschrieben:

«Bey Petronell am berg fürwar / ein grosser Gletscher hanget dar,/ hat gantz bedeckt dasselbig ort / Mit Heusren muss man rucken fort./ Stosst vor im weg das erderich / Böum heuser Felsen wunderbarlich...»

Über Bedrohungsszenarien hinaus begann das Interesse am «merkwürdigen» Phänomen Gletscher erst zu Beginn des 18. Jahrhunderts zu wachsen. Auf den vermutlich in den Jahren 1705-1708 auf Alpenreisen entstandenen Originalzeichnungen zur Schweizerkarte des Zürcher Stadtarztes und Naturforschers J. J. Scheuchzer (1672-1733) sind verschiedene Eisströme (u.a. Grindelwald- und Rhonegletscher) als reliefierte Masse in Feder und Wasserfarbe (in der gedruckten Ausgabe der «Nova Helvetiae Tabula Geographica» von 1712/13 als Haufen kugelig gebildeten in mitten maulwurfsartiger Hügel) dargestellt. Es handelt sich dabei um den ersten, allerdings sehr rudimentären Versuch in der Schweiz, Gletscher auf einer relativ kleinmassstäblichen Gesamtkarte zu erfassen. In Pfarrer J. G. Altmanns (1697-1758) 1751 erschienenem Werk «Versuch einer historischen und physischen Beschreibung der helvetischen Eisbergen» wird in den Zentralalpen ein vollkommen ebenes Eismeer postuliert, das aus einer schwimmenden Eistafel besteht; die (Tal-)Gletscher sind nur Abflüsse dieses höher gelegenen Eismeeres, so auch der 1748 besuchte Untere Grindelwaldgletscher, dessen Zungenendstand allerdings recht genau beschrieben wird. In dem 1760 erschienen 3-bändigen «Eisgebirge des Schweizerlandes» des Fürsprechers und Landschreibers G. S. Gruner (1717-1778) wird noch an ein allerdings festes aber fortwährend zunehmendes Eismeer geglaubt, wobei die (Tal-) Gletscher von diesem Eismeer ausgestossene Eisblöcke bilden. Kompilation älterer Texte, Mitteilungen von Landpfarrern und anderen Ortskundigen dominieren, eigene Beobachtungen von Gletschern dagegen sind nur wenige verarbeitet. Mit seinem Gedicht «Die Alpen» begründete 1729 der Arzt und Naturforscher A. von Haller den Mythos dieses Gebirges. In der Vorrede zu den «Merkwuerdigen Prospekten aus den Schweizer-Gebuergen» des Verlegers A. Wagner (VUES REMARQUABLES 1776/77 mit einer Reisebeschreibung von J. S. Wytttenbach und 10 kolorierten Umrissradierungen nach Vorlagen von C. Wolf) versucht er, die Grunersche Theorie mit älteren Vorstellungen zu verbinden.

«Die Gletscher bestehen also aus den die obersten und kältesten Spitzen der Alpen überziehenden Eistrücken, dem Firn unserer Alpenleute, aus den Eisthälern, die zuweilen manche Meile lang sind,...»

Das «Fortrücken der Gletscher» wird durch die «Elasticität der eingeschlossenen Luft bewirkt» (Haller zit. in: STUDER 1863: 354).

Idealisierte, dramatisierte und realistische Alpen- und Gletscherlandschaft

Zum zentralen Bildmotiv werden die Gletscher in der Zeit der Spätaufklärung bei den einzigartigen Ansichten von C. Wolf (1735-1783, vgl. RAEBER 1979, KAT. AUSST. 2001). Wolf ist der wohl bedeutendste Vertreter der Schweizer Landschaftsmalerei des späten 18. Jahrhunderts, die das Naturgefühl der Vorromantik stark beeinflusste. Er wagte sich als einer der ersten in die Hochalpen, mehrmals begleitet vom Berner Pfarrer und Naturforscher J. S. Wyttenbach (1748-1830, 1815 erster Präsident der neugegründeten Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft), skizzierte Fels, Wasser und Eis so genau wie möglich an Ort und Stelle, sogar im Winter, und erfasste so als einer der ersten die wilde Majestät des Hochgebirges. Daneben wird auch jedes Detail – zum Beispiel das sich jährlich verändernde Gletschertor – mit der Exaktheit des Forschers notiert. Schön zu sehen ist dies auf einer Frontalansicht des Unteren Grindelwaldgletschers aus den Jahren

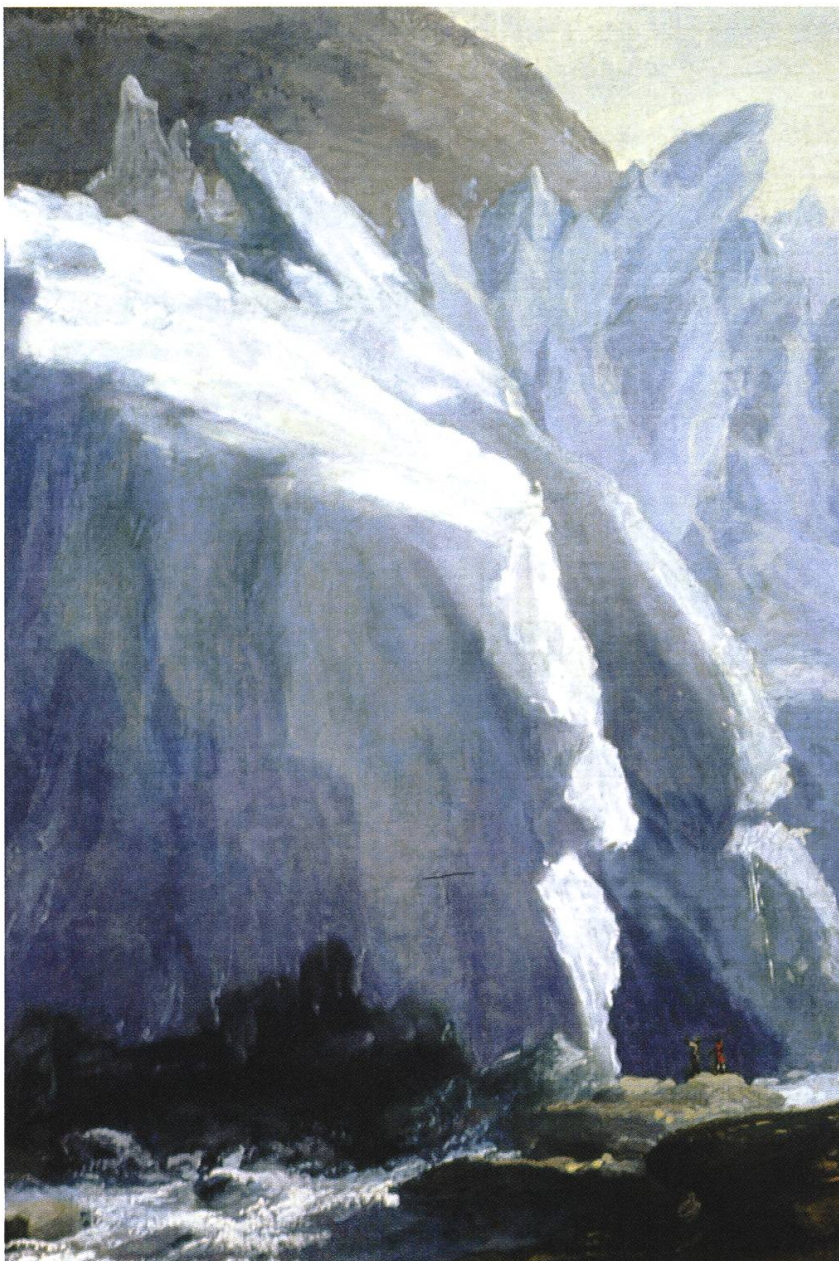


Abb. 1: C. Wolf 1777:
Die Front des vorstossenden
Unteren Grindelwald-
gletschers, Ausschnitt aus
Oelgemälde
(Kunstmuseum Bern)

1774 bis 1776 (vgl. Abb. 1). Die steile grünblaue Stirnzone oder die chaotisch wirkende, in zahlreiche Séracs aufgelöste, hellblauweisse Gletscheroberfläche wird man vielleicht zuerst als barocke Künstlerphantasie abtun, doch sind beides in Wirklichkeit charakteristische Merkmale von vorstossenden Gletschern (der Vorstoss dauerte von 1768 bis 1778/79). Einzig bei der Farbgebung versuchte der Künstler, seine Idealvorstellung von Gletschereis wiederzugeben, was schon damals von J. S. Wyttenbach kritisch vermerkt wurde. Fast nie fehlt auf den Skizzen, Gemälden und graphischen Blättern von Wolf – sie haben die Gletscher des Berner Oberlandes in Europa berühmt gemacht – der menschliche Massstab, z.B. als Staffage, immer verschwindend klein, staunend, ergriffen von der grossartigen Gletscherszene. Dies ist Ausdruck des zunehmenden Realismus, nämlich des Bestrebens, jede Naturerscheinung in ihrer Eigenart zur Geltung zu bringen, nicht nur Faszinierendes sondern auch Hässliches darzustellen.

Kurz zuvor ist wahrscheinlich erstmals das Vorrücken von Eismassen gemessen worden. Von diesem Messexperiment im Jahre 1773 berichtet B. F. Kuhn (1767-1819) in seinem wegen der hohen wissenschaftlichen Qualität berühmt gewordenen «Versuch über den Mechanismus der Gletscher»:

«Ein Hirtenknabe von ungefähr 15 Jahren hütete im Jahr 1773, nahe an dem oberem Grindelwald-Gletscher, seine Ziegen. Er hatte von dem damals sehr schnellen Fortschreiten der Gletscher und den daherigen Besorgnissen der Anwohner reden gehört, und mit unter selbst die Annäherung desselben gegen die benachbarten Gegenstände wahrzunehmen geglaubt. Seine Neugierde trieb ihn, dieses Phänomen etwas näher zu untersuchen. Er mass zu diesem Ende die Entfernung eines aus der Erde hervorragenden Felsblockes von dem Gletscher aus, und bemerkte die Distanzen allemal nach der Länge seines Stockes mit einem Steine. Er besuchte nun diese Merkzeichen täglich, und sahe eines nach dem andern unter dem Eise verschwinden. Innerhalb wenigen Tagen lag der Gletscher zart an dem Felsblocke selbst; den nächsten Morgen war er bis auf die Mitte desselben und noch den nemlichen Abend war er ganz vom Eise bedeckt» (KUHN in Höpfner 1787, 1: 125). Die Vorstossbewegung der Gletscher, von Kuhn als Tatsache verteidigt und erklärt, wurde damals noch keineswegs allgemein anerkannt, ja von Akademikern sogar bestritten. Dass auch die Vorstellungen der Talbevölkerung von den genauen Erklärungen B. F. Kuhns noch weit entfernt waren, ist daraus ersichtlich, dass die Grindelwaldner noch 1778 zu Beschwörungen Zuflucht nehmen wollten, um die vorstossenden Gletscher aufzuhalten (ZUMBÜHL 1980). Der «Atlas Suisse» (16 Blätter im Massstab von etwa 1:120'000, initiiert von J. R. Meyer mit J. H. Weiss und J. E. Müller, erschienen 1796 bis 1802) ist vermutlich die Alpenkarte, auf der eine Vielzahl von Gletschern erstmals erfasst und mit Blau einer zweiten Druckplatte entsprechend ihrer grossen Bedeutung für den Alpenraum visuell deutlich hervorgehoben wurden (ZUMBÜHL 1998). Die Qualität der Gletscherdarstellung ist sowohl formal wie auch in Bezug auf die Auswertbarkeit für die Eisgeschichte sehr unterschiedlich.

Nachdem verschiedene Alpengletscher an der Wende 18./19. Jahrhundert deutlich zurückgeschmolzen waren, erfolgte anschliessend ein markanter Vorstoss bis in die 1820er Jahre hinein, der eine erste grosse, stellenweise gar die grösste Eisausdehnung im 19. Jahrhundert bewirkte. Genau in dieser besonders interessanten Phase der Gletscher-

geschichte hat S. Birmann (1793-1847) aus Basel innerhalb von 21 Jahren, d.h. von 1815 bis 1835, ca. 100 Gletscheransichten geschaffen (vgl. Abb. 2), die alle einem frühromantischen Realismus verpflichtet sind und qualitativ zu den besten Gletscherzeichnungen gehören, die je geschaffen worden sind (ZUMBÜHL 1997). Birmann hielt die Veränderungen der Eisströme mit fotografischer Genauigkeit fest. Zwar ist nicht bei allen Gletschern das Jahr der grössten Ausdehnung wiedergegeben, aber die zeichnerische Erfassung, beispielsweise auch der Moränen sowie ihrer differenzierten Farbigkeit, ermöglichen eine genaue Rekonstruktion des von zahlreichen Fehleinschätzungen belasteten 1820er Hochstandes.

Die Eiszeittheorie und der Anfang der modernen Gletscherforschung

Die Erklärung der erratischen Blöcke als Gletscherablagerungen und damit die Erkenntnis einer einstigen Eiszeit setzte sich in der Wissenschaft nur sehr mühsam und nach insgesamt mehr als 40 Jahren Diskussion und Widerstand gegen die Eisberg-Drift-Hypothese durch. Zu den Bahnbrechern gehören der Walliser Oberingenieur I. Venetz (1788-1859, vgl. KAISER 1990: 54, Abb. 1 «Stammbaum» der frühen Eiszeitforschung in der Schweiz) und sein Freund, der Direktor der Salzwerte von Bex, J. de Charpentier (1786-1855). Genau wie bei der ersten Messung der Gletscherbewegung waren es auch hier nicht Gelehrte sondern vor allem zwei Bergbauern die vermutlich erstmals von den Gletschern als Ursache des Transports von erratischen Trümmern sprachen. 1815 behauptete der Bauer



Abb. 2: S. Birmann 1826: Der Untere Grindelwaldgletscher mit dem Schweif (Eiszungenende im Talboden) zwischen Mettenberg und Hörnligrat, Aquarellierte und gouachierte Bleistiftzeichnung (Kunstmuseum Basel, Kupferstichkabinett)

und Gemsjäger J. P. Perraudin (1767-1858) im Val de Bagnes gegenüber Charpentier, dass dieses Tal und das Val d'Entremont in früheren Zeiten völlig mit einem Gletscher erfüllt gewesen sei, welcher sich bis Martigny erstreckt und daselbst die Granitblöcke abgesetzt habe. Zuerst von Charpentier verworfen, wurde die Idee, massgeblich beeinflusst von Venetz, schliesslich zur eigenen Überzeugung, die er am 29. Juli 1834 als Referat mit dem Titel «La cause probable du transport des blocs erratiques en Suisse» vor der Schweizerischen (damals Helvetischen) Naturforschenden Gesellschaft in Luzern vortrug. Auf seiner Fussreise nach Luzern erhielt Charpentier beim Aufstieg zum Brünig wie zur Bestätigung bei der Examinierung eines Granitblockes von einem Holzfäller aus Meiringen bei einer entsprechenden Frage die Antwort, der Gletscher von der Grimsel habe diese Granitblöcke («Geisberger») hergebracht und zu beiden Seiten des Tales abgelagert, wobei sich der Gletscher einst bis zur Stadt Bern ausgedehnt habe (CHARPENTIER 1841: 241/242f. Fussnote). Drei Jahre später, am 24. Juli 1837, nahm der junge Professor für Zoologie und Paläontologie in Neuenburg, L. Agassiz (1807-1873), nach verschiedenen Exkursionen im Wallis gemeinsam mit Charpentier in seiner Eröffnungsrede vor der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft mit Vehemenz das Thema Gletscher- oder Eiszeittheorie auf. Wenn Charpentier erklärt hatte, dass die Gletscher, die man heute in der Schweiz sehe, einst viel grösser gewesen seien, so behauptete Agassiz nun, dass die ganze nördliche Hemisphäre vom Nordpol bis zum Mittelmeer einmal unter einem gigantischen Gletscher gelegen haben müsse. Diese «Eiszeithypothese» – das Wort Eiszeit war im Februar 1837 erstmals schriftlich in einer humoristischen Ode von C. F. Schimper (1803-1867) aufgetaucht – schockierte viele Zuhörer und wurde abgelehnt, unter anderem weil damit das christliche wie wissenschaftliche Weltbild der Zeit überstrapaziert wurden: im Gegensatz zu katastrophalen Fluten sind riesige Gletscher in der Bibel nicht erwähnt und Kenntnis von vergleichbar grossen Gletschern resp. Eisschilden existierte damals noch kaum (BOLLES 2000: 74-87).

Agassiz erkannte, dass systematisch Wissen über Gletscher aufgebaut werden musste. Von 1839 bis 1845 (aber ohne 1844) führte Agassiz, ganz im Sinne moderner interdisziplinärer Wissenschaft, mit einem Team von Mitarbeitern jeweils im Sommer (1841 auch

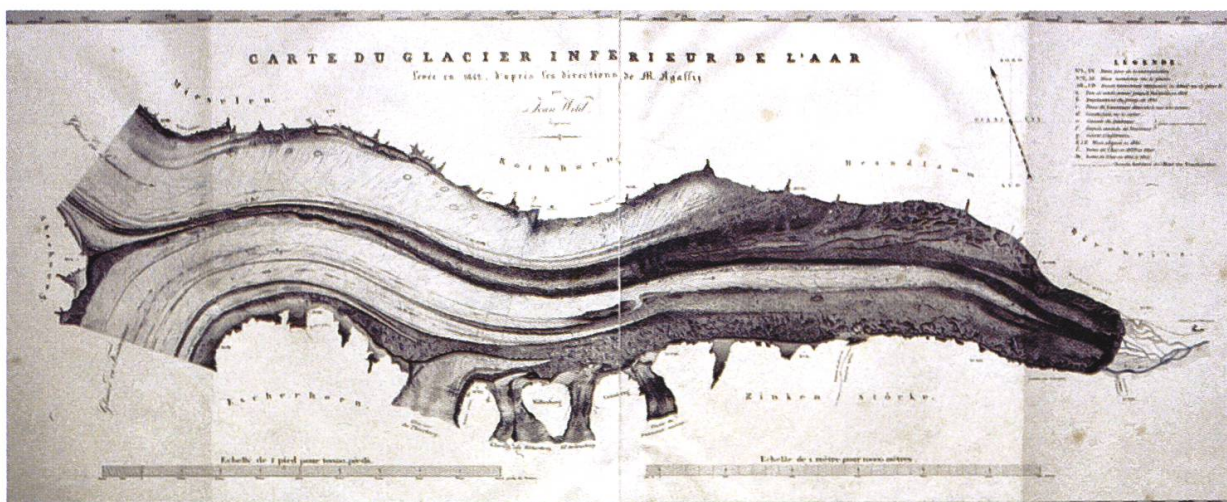


Abb. 3: J. Wild 1842: Der Unteraargletscher im Massstab 1:10'000, Lithographie. Die erste wissenschaftliche Gletscherkarte veranlasst und publiziert von L. Agassiz 1847 im Tafelband zu seinen «Nouvelles études et expériences sur les glaciers actuels»

im März, d.h. «Winter») auf dem Unteraargletscher ein Forschungsprogramm durch, das den Anfang der modernen experimentellen Gletscherforschung markiert. Bereits von 1827 bis 1831 hatte der Solothurner Gymnasiallehrer und Naturhistoriker F. J. Hugi (1793-1855) jedes Jahr den gleichen Gletscher besucht und erforscht – u.a. mit Messungen der Fliessgeschwindigkeit (HUGI 1830). Nach den Angaben von Agassiz schuf der Vermessungsingenieur J. Wild im Sommer 1842 die «Carte du glacier inférieur de l'Aar» im Massstab 1:10'000 (vgl. Abb. 3). Agassiz publizierte 1847 diese für die damalige Zeit einzigartige, auch heute noch bewundernswürdige erste wissenschaftliche Gletscherkarte in grossem Massstab im Atlasband zu seinen «Nouvelles études et expériences sur les glaciers actuels» (AGASSIZ 1847). Auf der zweifarbigen Lithografie, auch aus ästhetischer Sicht ein Meisterwerk, ist die damals mehr als 8 km lange Zunge des Unteraargletschers östlich des Abschwunges mit einer einmaligen Fülle von Eisoberflächenphänomenen durch ein System von Böschungsschraffen dargestellt. Langfristig brachten jedoch erst die Berichte über das «Grosse Eis» oder «Inlandeis», die der Reise-schriftsteller E. K. Kane von einer dramatischen Expedition in den Jahren 1853-1855 zur Nordküste Grönlands zurückbrachte, den endgültigen Durchbruch der Eiszeittheorie. Die Übersiedlung von Agassiz nach den USA sowie seine zahlreichen Reisen sorgten schlussendlich auch für eine internationale Verbreitung der «théorie suisse des glaciers». Wie ein eiszeitlicher Gletscher ausgesehen haben könnte, wurde dank Kane langsam für Interessierte vorstellbar, beflügelte die Phantasie und lockte immer mehr auch Touristen zu den

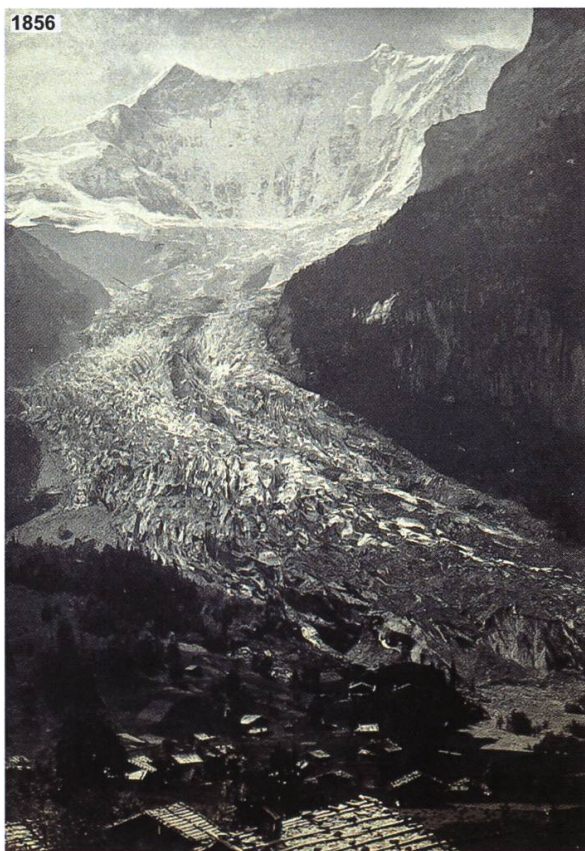


Abb. 4: F. Martens um 1856: Der Untere Grindelwaldgletscher während der grössten Ausdehnung im 19. Jahrhundert, Fotografie (Alpine Club Library London)



Abb. 5: Der Untere Grindelwaldgletscher 1974 (A) und das Zungenende des Unteren Gletschers in der Gletscherschlucht heute (B) (Zumbühl, 11.09.2002)

Orten, wo man zumindest «kleine» Gletscher bewundern konnte, so z.B. in die Schweizer Alpen.

Der elsässische Industrielle, Mäzen und Gletscherenthusiast D. Dollfus-Ausset (1797-1870) führte die Arbeiten am Unteraargletscher bis 1863 weiter und publizierte die umfangreichen Ergebnisse in den «Materiaux pour l'étude des glaciers» (DOLLFUS-AUSSET 1863-1872). Ihm sind die ersten und teilweise eindrucklichsten frühen Photographien von Gletschern der Schweizeralpen zu verdanken, indem verschiedene Photographen «Papa Gletscher-Dollfus» auf seinen Alpenreisen begleiteten oder grosse Aufträge für Gletscherfotos – damals eine sehr aufwendige und kostspielige Darstellungstechnik – erhielten. J. G. Dardel (1824-1899) aus Mühlhausen und C. Bernabe aus Lyon machten in den beiden Sommern 1849 und 1850 eine grössere Anzahl von Daguerreotypen in den Schweizer Alpen, die wohl die ältesten Photographien von Schweizer Gletschern darstellen (LAGOLTIÈRE 1989, KEMPF 1989). Im September 1855 schuf A. R. Bisson (1826-1900) vom Pavillon Dollfus aus ein 1.85m langes Panoramaphoto des Finsteraar- und Lauteraargletschers, «*ein gigantisches Ensemble von wunderbarer Wirkung*» wie Zeitgenossen damals lobten (CHLUMSKY 1999), dem 1861 auch erste Photographien vom Gipfel des Montblanc aus folgten. Während die Glasplatten-Negative von 1855/56 des Pariser Photographen F. von Martens (1806-1885) die damals grösste Ausdehnung beispielsweise der beiden Grindelwaldgletscher (vgl. Abb. 4) und des Rhonegletschers im 19. Jahrhundert zeigen, ist auf den Aufnahmen anderer Pioniere der Hochgebirgsphotographie wie etwa A. Braun (1812-1877; KEMPF 1994) oder J. Beck (1825-1904) immer deutlicher das rasche Abschmelzen der Gletscher nach dem Ende der Kleinen Eiszeit zu beobachten.

Eine wachsende Zahl von interessierten Reisenden erlaubte es ab ca. 1850, stereoskopische Photographien u.a. von Gletschern erfolgreich zu vermarkten. Dank des dreidimensionalen Effektes waren diese Stereobilder besonders spektakulär und da kleinformatig, durchaus preiswert. Die Faszination Gletscher war nun dank der Photographie wissenschaftlich exakt abbildbar.

Die Entwicklung internationaler Messkonzepte

Den bahnbrechenden Arbeiten des Teams von Agassiz am Unteraargletscher folgten in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts weitere systematische Studien. Besonders intensiv und umfassend wurde beispielsweise der Rhonegletscher in einem gemeinsamen Projekt von Bundesbehörden und Alpenclub untersucht (MERCANTON 1916). Im Jahre 1893 richtete schliesslich F.-A. Forel, der Begründer der wissenschaftlichen Limnologie, ein schweizerisches Messnetz für systematische langfristige Beobachtungen ein. Diesem Vorbild folgend etablierte der 6. Internationale Geologenkongress in Zürich im Jahr 1894 weltweit koordinierte Gletscherbeobachtungen. Forel selbst wurde erster Präsident der entsprechenden Internationalen Gletscherkommission und damit auch Begründer einer der ältesten global koordinierten Umwelt-Messreihen. Die seither verstrichenen 120 Jahre (HAEBERLI et al. 1998) kann man in vier Hauptphasen unterteilen, nämlich (1) die Gründerjahre um die Jahrhundertwende mit der Suche nach Periodizitäten und der Dokumentation von Naturkatastrophen, (2) Kriege und Krisen bis zur Mitte des 20. Jahr-

hunderts, (3) Neuorganisation des internationalen Messnetzes aber gleichzeitig auch Entfremdung von Theorie und Beobachtung und schliesslich (4) Durchbruch zur Schlüsselindikation in der globalen Klimafrage um die Jahrtausendwende.

Zwei Aspekte, die bis heute nichts an Aktualität eingebüsst haben, standen im Zentrum der 1894 einsetzenden weltweiten Beobachtung (FOREL 1895): die Frage nach den Gründen und Prozessen der dramatischen Vorgänge in der Eiszeit, deren tatsächliche Existenz soeben endgültig akzeptiert worden war, und die Suche nach der (terrestrischen/extraterrestrischen?) Steuerung der (synchronen/asynchronen?) rezenten Gletscher- und Klimaschwankungen. Es war durchaus klar, dass ein Generationen- und Jahrhundertwerk aufzubauen war – die wissenschaftliche Solidarität mit zukünftigen (unseren!) Generationen war jenseits aller Diskussion. Genauso klar war allerdings auch, dass das Prozessverständnis der ins Auge gefassten, komplexen und langfristigen Veränderungen im Vordergrund stehen musste und dass mit dem Einbezug einheimischer Laien-Beobachter wie auch modernster Präzisionsvermessung und -kartographie eine umfassende, im heutigen Sprachgebrauch letztlich «transdisziplinäre» Methoden-Palette einzusetzen war. Wissenschaftlich lagen damals Sonnenzyklen und andere Periodizitäten im Brennpunkt des Interesses und die dokumentierten Vorstoss- und Rückzugsphasen der Gletscher wurden schon nur aufgrund der historischen Quellen als quasiperiodisches «Kommen und Gehen» interpretiert. Die wechselweise von verschiedenen Kommissionsmitgliedern verfassten internationalen Berichte hiessen denn auch folgerichtig «*Les variations périodiques des glaciers*». Aus dieser Zeit der noch kaum existenten Kartenwerke und des embryonalen Prozessverständnisses stammt die Methode der regelmässigen Längenmessung und deren Auswertung als Statistik vorrückender, stationärer und im Rückzug begriffener Gletscherzungen. Die kurzen Wiedervorstösse der Alpengletscher um 1890 und 1920 beendeten den drastischen Eistrückgang nach 1850 und schienen die gängige Mess- und Analysestrategie zu bestätigen: die einzigartigen Kartenwerke der Ostalpengletscher wurden gegen Ende des 19. Jahrhunderts nach dem Vorbild der Rhonegletschervermessung (MERCANTON 1916) nicht zuletzt auch im Hinblick auf einen erwarteten Wiedervorstoss der Gletscher über ihre erst gerade freigegebenen Vorfelder hergestellt (vgl. dazu beispielsweise FINSTERWALDER und RENTSCH 1980). Neben diesem methodisch-analytischen

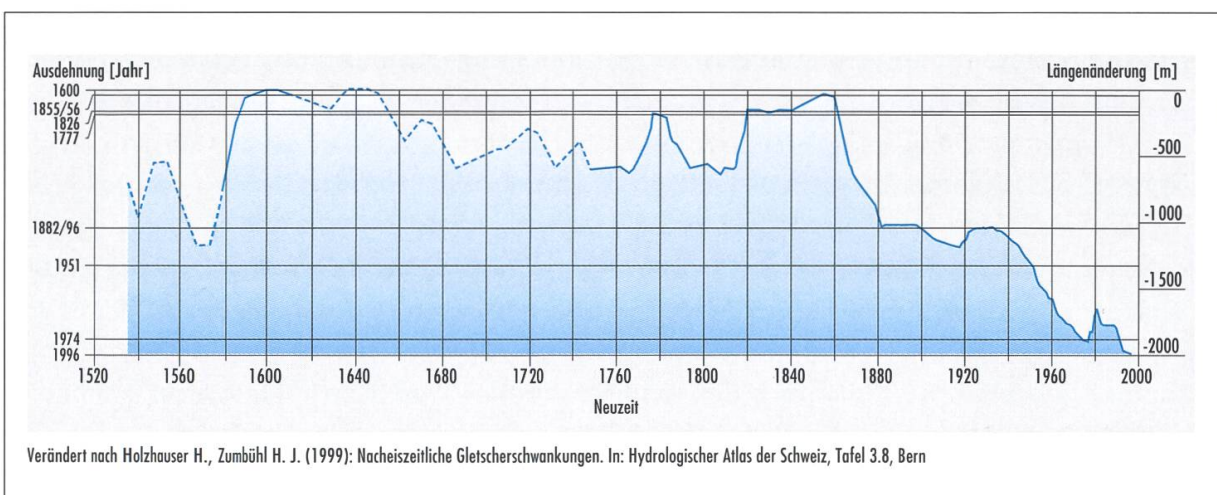


Abb. 6: Vorstoss- und Schwundphasen des Unteren Grindelwaldgletschers von 1535 bis heute (HOLZHAUSER/ZUMBÜHL 1999: Hydrologischer Atlas der Schweiz Blatt 3.8)

Aufbruch erhielten auch die sich damals häufenden Gletscherkatastrophen in den Westalpen (Wasserausbruch Tête Rousse 1892, Eissturz Altels 1895, Eis/Felssturz Fletschhorn 1901), die historisch belegten raschen Vorstösse des Vernagtferners (Ostalpen) und der dramatische Eiszerfall in der Glacier Bay (Alaska) grosse Aufmerksamkeit. Der Anfang moderner und koordinierter Langfristbeobachtungen hat seine Wurzeln in den Alpen. Er ist in seinen Zielen von bewundernswertem Idealismus, im Vorgehen zuvorderst an der Forschungsfront und hinsichtlich offener internationaler Kommunikation vorbildlich. Nach über 100 Jahren kann man diese einzigartige und weitsichtige Leistung nur mit grosser Dankbarkeit anerkennen.

Mit den beiden Weltkriegen und der Wirtschaftskrise geriet auch die internationale Gletscherbeobachtung an den Rand des vollständigen Einbruchs. Gletscher und Gipfelkalotten der Alpen wurden Teile der Front in kriegesischen Auseinandersetzungen, wissenschaftliche Solidarität und Kommunikation waren bedroht, das Geld für aufwändige Messungen fehlte. Fast wie ein Spiegelbild dieses Niedergangs verloren die Gletscher zusehends nicht nur an Masse und Länge (Abb. 6, vgl. dazu Abb. 4 und 5), sondern auch an Interesse. P.-L. Mercanton, Ingenieur und Physikprofessor aus Lausanne, langjähriger Direktor der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt und Sekretär der nun zu einer Internationalen Kommission für Schnee und Eis erweiterten ehemaligen Internationalen Gletscherkommission, hielt das Fähnchen aufrecht. Seine allerdings eher sporadischen Berichte über die Gletscher Europas (v.a. Alpen und Skandinavien) für die Jahre von 1930 bis 1961 erhielten den Kern des Messnetzes am Leben. Von Analysen möglicher Ursachen war kaum mehr die Rede. Fast unbemerkt ging in den ausserordentlich heissen 1940er Jahren die erste Kulmination des Gletscherschwundes und damit des ersten globalen Erwärmungsschubes an der Wissenschaft vorbei. Andererseits brachten internationale Expeditionen in Hochgebirgsregionen Asiens und Südamerikas Erkenntnisse über die Charakteristiken der dortigen Gletscher. Die entsprechende klimatische Analyse, vor allem vorangetrieben – nicht zuletzt in den Alpenländern – durch den schwedischen Geographen und späteren Diplomaten H. W. Ahlmann legten den Grundstein für moderne Prozess-Studien: eine Saat, die erst nach dem zweiten Weltkrieg aufging (HAEBERLI et al. 1989).

Der Aufbruch in den 1950/60er Jahren war umfassend, trug aber auch den Keim einer zweiten tiefen Krise in sich. Wesentliche Impulse gingen vom Internationalen Geophysikalischen Jahr 1956/57 und von der Internationalen Hydrologischen Dekade (1965-74) aus. Ein «Permanent Service on the Fluctuations of Glaciers» wurde unter der Schirmherrschaft der UNESCO gegründet und der Leitung des Zürcher Bauingenieurs P. Kasser anvertraut. Gletschermessungen wurden zunehmend auch aus aussereuropäischen Gebieten gemeldet und dem Beispiel Schwedens und Norwegens folgend, wurden nun in verschiedenen Ländern aufwändige Gletscher-Massenbilanzen gemessen (HOINKES 1970, LETRÉGUILLY and REYNAUD 1990). Damit wurde der «missing link» zwischen dem Klima und den Längenänderungen erfasst. Der immer deutlicher werdende Wiedervorstoss vieler kleiner und mittelgrosser Alpengletscher (PATZELT 1985) löste eine neue Begeisterung aus – vorstossende Gletscher sind besser messbar, wissenschaftlich interessanter und kommen zudem romantischen Projektionen näher als zerfallende Eisreste. Alles wäre auf bestem Weg gewesen, doch hatten sich Theorie und Beobachtung längst nicht nur auseinander,

sondern auch von der Sache weg entwickelt. Eismechanische Theorien und Modelle liessen die Interpretation von Gletscher-Längenänderungen zunehmend unmöglich erscheinen, da die Fliessdynamik (v.a. das Gleiten am Bett) kaum verstanden werden könne und die Gletscher ohnehin Jahrhunderte bräuchten um sich Klimaänderungen anzupassen (NYE 1960). Die Beobachter waren wohl mehr vom Sinn ihrer Messungen als vom Gegenteil der eismechanischen Theorien überzeugt, verwendeten jedoch zur Analyse der erhobenen Daten weiterhin die aus den Gründerjahren stammende (Prozent-) Statistik vorstossender und schwindender Gletscher. Diese war allerdings im Licht des fortgeschrittenen Prozessverständnisses längst unhaltbar geworden, da sie Information über Gletscher mit ganz unterschiedlichem Verhalten undifferenziert mischt und den für alle offensichtlichen da fortgesetzten Gletscherschwund verdeckt (wenn der letzte noch übriggebliebene Gletscher vor dem endgültigen Abschmelzen zufälligerweise nochmals ein paar Zentimeter vorrückte, wäre das ein 100%iger und damit historisch einmaliger «Gletschervorstoss»!). Der Unmut stieg und die Glaubwürdigkeit sank auf beiden Seiten. Im Vorwort zu seinem klassischen Lehrbuch «The Physics of Glaciers» schrieb schliesslich S. PATERSON (1968), dass eine Handvoll mathematisch gebildeter Physiker mehr zum Verständnis beigetragen hätten als hunderte von Leuten, die Gletscher messen – wie wenn Verständnis ohne Wissen möglich und sinnvoll wäre. Der Schaden war gross: Messnetze wurden reduziert, offene wissenschaftliche Diskussionen blieben mehr und mehr aus, und nach dem plötzlichen Tod des Zürcher Geographen F. Müller, der den internationalen Gletscherbeobachtungsdienst von Kasser übernommen hatte, unternahm die Internationale Kommission für Schnee und Eis keine Anstrengungen mehr, das Programm fortzusetzen. Zum zweiten Mal stand die internationale Gletscherbeobachtung vor dem Nichts.

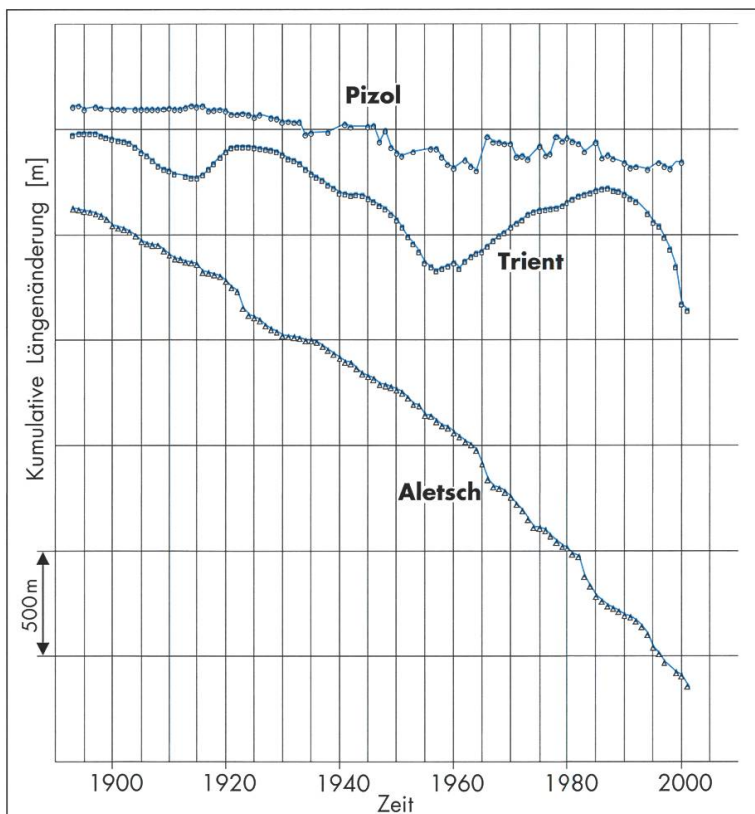


Abb. 7: Kumulative Längenänderung ausgewählter Alpengletscher im 20. Jahrhundert. Kleine Kargletscher («glaciers réservoirs»; Beispiel Pizol) fliessen wenig und reagieren auf kurzfristige Änderungen atmosphärischer Bedingungen. Steile Gebirgsgletscher («glacier évacuateurs»; Beispiel Trient) filtern durch ihre aktive Fliessdynamik solch hochfrequente Signale und verstärken dafür Jahrzehntvariationen, während lange Talgletscher (Beispiel Aletsch) markante Jahrhundertssignale abgeben.

Die Wiederaufnahme der Arbeiten bis zum – hoffentlich nun endgültigen – Durchbruch war ein hartes Stück Arbeit. Zuerst einmal hiess es, verstiegene Theorien wie irreführende Statistiken aus dem Wege räumen, um wieder Glaubwürdigkeit entstehen zu lassen. Das war alles andere als einfach, gab es doch Widerstand von leicht zu unterschätzender emotionaler Seite. Die Schönheit mathematisch-physikalischer Theorien spiegelt sich ungern in Fragen nach Relevanz und Realitätsgehalt. Auf der anderen Seite helfen traditionelle Statistiken wie die Prozentgraphik, die Illusion des ursprünglich angenommenen «Kommens und Gehens» der Gletscher aufrecht zu erhalten und über den drohenden Verlust eines Stücks physischer und seelischer Heimat (und Unschuld?) hinwegzutäuschen. Entscheidend wurden schliesslich zwei Entwicklungen: die zunehmende Realitätsnähe numerischer Modelle und die immer deutlicher werdenden Zeichen eines keineswegs periodischen sondern progressiven Gletscherschwundes. Der Bedarf an

Eisvolumen	1970/80		130 km ³
Massenbilanz	1850-1970/80	(125a)	-0.3 m/a
Massenverlust	1850-1970/80	(125a)	50% von 1850
Massenbilanz	1980-2000	(20a)	-0.6 m/a
Massenverlust	1980-2000	(20a)	25% von 1970/80
Simulierter Massenverlust	1970/80-2025	(50a)	50% von 1970/80
Simulierter Massenverlust	1970/80-2100	(125a)	90% von 1970/80

Tabelle 1: Analyse von Gletscherinventaren der Europäischen Alpen (Quelle: HAEBERLI and HOELZLE (1995), verändert und nachgeführt)

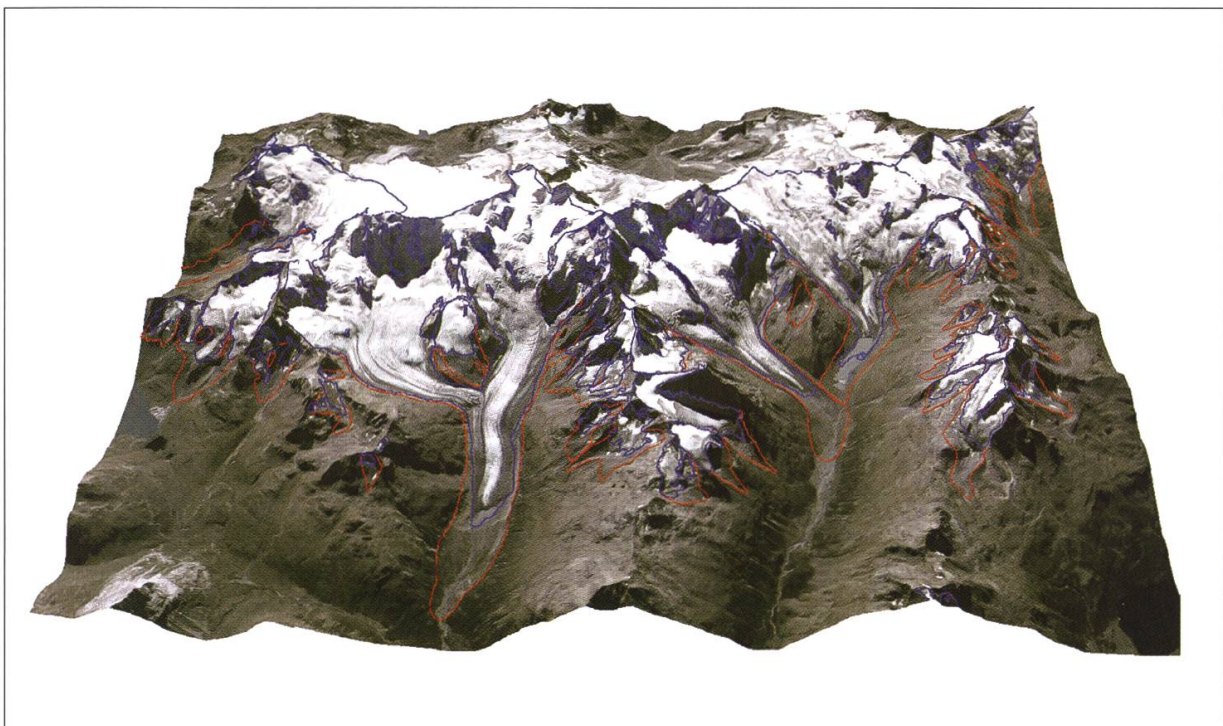


Abb 8: Gletscherschwankungen in der Berninagruppe zwischen 1850 (rot) und 1973 (blau). Die digitalisierten Gletscherumrisse wurden zusammen mit einem Satellitenbild von 1997/99 (Fusion von Landsat TM mit IRS-1C Daten) dem DHM25 überlagert. Die perspektivische 3D-Schrägsicht wurde automatisch im GIS erzeugt. (DHM25©2003 swisstopo (BA035381))

Parametrisierungen für numerische Gletschermodelle und die zunehmende Betroffenheit der Bevölkerung über den offensichtlich zunehmenden Eiszerfall brachten wieder eine Rückkehr zum Erfolgsrezept der Gründerjahre mit ihren inter- und transdisziplinären Ansätzen. Es wurde nun rasch klar, dass die Gesetze der Massenerhaltung mittelfristig die eismechanischen Komplexitäten der dynamischen Reaktion bei Vorstoss/Rückzug überspielen (OERLEMANS et al. 1998), dass die Anpassungszeit von Gletschern hinsichtlich Klimaänderungen für kleinere Gebirgsgletscher im Jahrzehntebereich liegt (JOHANNESSON et al. 1989, HOELZLE et al. 2003) und dass demnach die historischen wie zukünftigen Längenänderungen der meisten Alpengletscher sehr wohl als quantitative Indikation für laufende Klimaänderungen interpretiert werden können (Abb. 7). Wie ein Schock wirkten für viele die auf Inventardaten gestützten Berechnungen, wonach die Gletscher der Europäischen Alpen seit der Mitte des 19. Jahrhunderts rund die Hälfte ihres Volumens verloren haben und im Verlauf der kommenden Jahrzehnte bis auf eher kümmerliche Reste zurückschmelzen könnten (Tabelle 1, HAEBERLI und HOELZLE 1995, vgl. auch MAISCH 2000). Mit dem Fund des Ötztaler Eismannes, der rund 5000 Jahre unter Eis geblieben war, wurde schlagartig einer breiten Öffentlichkeit bewusst, dass bereits ausserordentliche Zustände erreicht sind. Gletscher sind in globalen klimabezogenen Beobachtungsprogrammen heute eine Schlüsselvariable für die Früherkennung und Dokumentation beschleunigender Erwärmung. Der zweite wie der dritte Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change geben den Gebirgsgletschern neben den instrumentell gemessenen Temperaturen der Luft und der Ozeanoberfläche die höchste Qualifikation hinsichtlich Vertrauenswürdigkeit als Erwärmungsindikatoren (HAEBERLI et al. 2002, IPCC



Abb. 9: Ghiacciaio del Belvedere oberhalb Macugnaga, Valle Anzasca, Italienische Alpen. Seit dem Jahr 2001 hat dieser schuttbedeckte Gletscher am Fuss des Monte Rosa seine Fliessgeschwindigkeit um ein Mehrfaches erhöht. Die Gründe für dieses atypische Verhalten sind nicht im Detail geklärt. Auf der Oberfläche hat sich im Zuge dieser Entwicklung schnell ein grosser See gebildet, der für die Untertalgemeinden eine beträchtliche Gefahr darstellt (KÄÄB et al. 2003).

2001). Gletscher sind heute «Fieberthermometer» der Erde geworden, die mit modernsten Methoden der Fernerkundung und der GIS-gestützten Analyse (Abb. 8, KÄÄB et al. 2002; PAUL et al. 2002) beobachtet, aber durchaus auch ohne wissenschaftlichen Hintergrund wenigstens in den groben Zügen «abgelesen» und «verstanden» werden können. Wie das Beispiel des in jüngsten Jahren beschleunigt fliessenden Ghiacciaio del Belvedere bei Macugnaga (Abb. 9) zeigt, sind Überraschungen und lokal gefährliche Entwicklungen möglich und naturgemäss immer mehr ohne historische Präzedenz (HAEBERLI et al. 2001, KÄÄB et al. 2003).

Ausblick

Von den ersten unbeholfenen Darstellungen zur heute weltweit koordinierten und hochtechnologischen Beobachtung der Gletscher als Schlüsselindikatoren im Klimasystem führt ein Weg mit dramatischen Paradigmenwechseln. Diese tatsächlich durchaus weltanschaulichen Entwicklungssprünge hängen primär mit den Fragen zusammen:

*«was ist die Motivation zur Beobachtung der alpinen Gletscherschwankungen»,
«wie werden die beobachteten Veränderungen interpretiert» und
«was bleibt bis heute aus der entsprechenden Zeit»?*

Existenzsicherung, romantische Naturbegeisterung, Fragen zur Entstehung unserer Welt, wissenschaftliche Neugier und schliesslich Sorge über beschleunigende Prozesse in unserer Umwelt waren nicht nur unterschiedliche Triebfedern der Beobachtung, sondern veränderten – manchmal schlagartig – auch Interpretation und Perzeption der Phänomene und Prozesse. Heute selbstverständliche Erkenntnisse über die Fliessbewegung der Gletscher, die Gletscherschwankungen in der Zeitskala der Jahrzehnte und Jahrhunderte, die ausserordentliche Bedeutung der Eiszeiten, den zunehmend nicht-periodischen Charakter der kumulativen Gletscherentwicklung – sie alle mussten sich gegen zum Teil heftigen Widerstand (nicht zuletzt aus akademischen Kreisen) durchsetzen. Vertrautheit mit der Realität ist für Offenheit gegenüber neuen Erkenntnissen mindestens so wichtig wie theoretische Gedankengebäude. Im Zusammenhang mit der Klimaproblematik der kommenden Jahrzehnte erhält die Gletscherbeobachtung gerade in dieser Hinsicht eine ganz neue und entscheidende Bedeutung: durch sie wird der Klimawandel erlebbare Realität. Schwarze Alpen ohne Gletscher sind durchaus vorstellbar geworden. Und damit ist die Frage nach der Verantwortung unausweichlich.

Literatur

- AGASSIZ, L. 1841: Untersuchungen über die Gletscher. Deutsche Bearbeitung Carl Vogt. Textband und Atlas. Solothurn.
- AGASSIZ, L. (GUYOT, A./DESOR, E.) 1847: Système glaciaire ou recherches sur les glaciers, leur mécanisme, leur ancienne extension et le rôle qu'ils ont joué dans l'histoire de la terre. Première partie: Nouvelles études et expériences sur les glaciers actuels, leur structure, leur progression et leur action physique sur le sol; Textbd. und Atlas. Paris/Leipzig.
- ALTMANN, H. G. 1751: Versuch einer historischen und physischen Beschreibung der helvetischen Eisbergen. Zürich.
- BOLLES, E. B. 2000: Eiszeit. Wie ein Professor, ein Politiker und ein Dichter das ewige Eis entdeckten. Aus dem Amerikanischen von A. Becker. Berlin.
- CHARPENTIER, J. de 1841: Essai sur les Glaciers et sur le terrain erratique du bassin du Rhône par... Lausanne.
- CHLUMSKY, M. 1999: Viktoria! Die fotografische Eroberung des Montblanc. In: Kat. Ausst. Die Brüder Bisson. Aufstieg und Fall eines Fotografenunternehmens im 19. Jh.. Museum Folkwang 7.2. – 28.3.1999 : 157-169. Essen, Paris.
- DOLLFUS-AUSSET, D. 1863-1872: Matériaux pour l'étude des glaciers. 8 Bde. Mit 13 Teilen, Suppl.Bd und Atlas. Paris/Strassburg.
- FINSTERWALDER, R. und RENTSCH, H. 1980: Zur Höhenänderung von Ostalpengletschern im Zeitraum 1969-1979. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 16, 1, 111-115.
- FOREL, F.-A. 1895: Les variations périodiques des glaciers. Discours préliminaire. Archives des Sciences physiques et naturelles, Genève, XXXIV, 209-229.
- GRUNER, G. S. 1760: Die Eisgebirge des Schweizerlandes 3 Bde. Bern.
- HAEBERLI, W. and HOELZLE, M. 1995: Application of inventory data for estimating characteristics of and regional climate-change effects on mountain glaciers: a pilot study with the European Alps. Annals of Glaciology, 21, 206-212. Russische Übersetzung in: Data of Glaciological Studies, Moscow, 82, 116-124.
- HAEBERLI, W., HOELZLE, M. and SUTER, S. (eds.) 1998: Into the second century of worldwide glacier monitoring: prospects and strategies. Studies and Reports in Hydrology 56, UNESCO, Paris.
- HAEBERLI, W., KÄÄB, A., PAUL, F., CHIARLE, M., MORTARA, G., MAZZA, A., DELINE, P. and RICHARDSON, S. 2002: A surge-type movement at Ghiacciaio del Belvedere and a developing slope instability in the east face of Monte Rosa, Macugnaga, Italian Alps. Norsk Geografisk Tidsskrift, 56, 104-111.
- HAEBERLI, W., MAISCH, M. and PAUL, F. 2002: Mountain glaciers in global climate-related observation networks. WMO Bulletin 51/1, 18-25.
- 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 perspectives. In: Glacier Fluctuations and Climatic Change (Oerlemans, J.; ed.), Kluwer, p. 77-101.
- HOELZLE, M., HAEBERLI, W., DISCHL, M. and PESCHKE, W. 2003: Secular glacier mass balances derived from cumulative glacier length changes. Global and Planetary Change 36 (4), 77-89.
- HOINKES, H. 1970: Methoden und Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, VI (1/2), 45-90.
- HOLZHAUSER, H. 1984: Zur Geschichte der Aletschgletscher und des Fieschergletschers. Phys. Geogr., Vol.13 GIUZ Zürich.
- HOLZHAUSER, H. und ZUMBÜHL, H. J. 1999: Nacheiszeitliche Gletscherschwankungen. Blatt 3.8 des Hydrologischen Atlas der Schweiz. Bern.
- HUGI F. J. 1830: Naturhistorische Alpenreise. Solothurn.
- IPCC (2001): Climate change 2001 – the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- JOHANNESSON, T., RAYMOND, C. F. and WADDINGTON, E. D. 1989: Time-scale for adjustment of glaciers to changes in mass balance. Journal of Glaciology 35/121, 355-369.
- KÄÄB, A., PAUL, F., MAISCH, M., HOELZLE, M. and HAEBERLI, W. 2002: The new remote-sensing-derived Swiss glacier inventory: II. First results. Annals of Glaciology, 34, 362-366.
- KÄÄB, A., WESSELS, R., HAEBERLI, W., HUGGEL, C., KARGEL, J. S. and KHALSA, S. J. S. 2003: Rapid ASTER imaging facilitates timely assessment of glacier hazards and disasters. EOS, 13/84, 117-124.
- KAISER, Kh. 1990: Ignaz Venetz im Dienst der Eiszeitforschung. In: Ignaz Venetz 1788-1859 Ingenieur und Naturforscher Gedenkschrift. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Oberwallis Bd.Nr.1:53-123 Brig.

- KAT. AUSST. 2001: Caspar Wolf – ein Panorama der Schweizer Alpen. Singisenforum, Kloster Muri 17.06.-16.09.2001 Aargauer Kunsthaus Aarau.
- KEMPF, C. 1994: Adolphe Braun et la Photographie 1812-1877 Illkirch (Bas Rhin).
- KEMPF, C. et MORAND, S. 1989: La daguerreotype en Alsace au XIX^e siecle. 150^e anniversaire de la divulgation de la photographie.
- KUHN, B. F. 1787: Versuch über den Mechanismus der Gletscher. In: Magazin für die Naturkunde Helvetiens. Hrsg. A. Höpfner Bd.1:119-136 Zürich.
- LAGOLTIÈRE, R. M. 1989: Mulhouse et la conquête photographique des Alpes et du Mont-Blanc. In: Annuaire historique de la ville de Mulhouse. T2: 39-63.
- LETREGUILLY, A. and REYNAUD, L. 1990: Space and time distribution of glacier mass balance in the northern hemisphere. Arctic and Alpine Research 22, 1, p. 43-50.
- MAISCH, M. 2000: The longterm signal of climate change in the Swiss Alps: glacier retreat since the end of the Little Ice Age and future ice decay scenarios. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 23/2, 139-151.
- MERCANTON, P.-L. 1916: Vermessungen am Rhonegletscher. Neue Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaften, Band LII.
- NICOLUSSI, K. 1990 (1993): Bilddokumente zur Geschichte des Vernagtferners im 17. Jahrhundert. In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 26 (2): 97-119.
- NYE, J. F. 1960: The response of glaciers and ice-sheets to seasonal and climatic changes. Proceedings of the Royal Society of London, Series A, 256, 559-584.
- OERLEMANS, J., ANDERSON, B., HUBBARD, A., HUYBRECHTS, P., JOHANNESSON, T., KNAP, W. H., SCHMEITS, M., STROEVEN, A. P., VAN DE WAL, R. S. W., WALLINGA, J. and ZUO, Z. 1998: Modelling the response of glaciers to climate warming. Climate Dynamics 14, 267-274.
- PATERSON, W. S. B. 1968: The physics of glaciers, 1st edition. Pergamon.
- PATZELT, G. 1985: The period of glacier advances in the Alps, 1965 to 1980. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 21, 403-407.
- PAUL, F., KÄÄB, A., MAISCH, M., KELLENBERGER, T. and HAEERLI, W. 2002: The new remote-sensing-derived Swiss Glacier Inventory: I. Methods. Annals of Glaciology, 34, 355-361.
- RAEBER, W. 1979: Caspar Wolf 1735-1783, sein Leben und sein Werk. Ein Beitrag zur Geschichte der Schweizer Malerei des 18. Jahrhunderts, Aarau. In: Schweizerisches Institut für Kunstwissenschaft Oeuvrekatalog Schweizer Künstler Bd. 7.
- REBMANN, H. R. 1606: Ein Neuw lustig ernsthaft Poetisch Gastmal und Gespräch zweyer Bergen ... Nemlich des Niesens und Stockhorns ... Sonneten durch H. R. Räßmann Dieneren des Worts Gottes. Bern.
- STUDER, B. 1863: Geschichte der Physischen Geographie der Schweiz bis 1815. Bern/Zürich.
- VUES REMARQUABLES (1776) 1777: Merkwuerdige Prospekte aus den Schweizer-Gebuergen und derselben Beschreibung. (Hrsg.) Wagner, Vorrede von A. v. Haller, Reisebeschreibung von J. S. Wytttenbach, 10 Umrissradierungen von C. Wolf, Bern.
- ZUMBÜHL, H. J. 1980: Die Schwankungen der Grindelwaldgletscher in den historischen Bild- und Schriftquellen des 12. bis 19. Jahrhunderts. Ein Beitrag zur Gletschergeschichte und Erforschung des Alpenraumes. In: Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Bd.92. Basel, Boston, Stuttgart.
- ZUMBÜHL, H. J. and HOLZHAUSER H. 1988: Alpengletscher in der Kleinen Eiszeit. Sonderheft zum 125 jährigen Jubiläum des SAC. Hrsg. Vom Schweizer Alpen-Club, 64. Jg. 3.Quartal: 129-322 Bern.
- ZUMBÜHL, H. J. 1997: Die Hochgebirgszeichnungen von Samuel Birmann – ihre Bedeutung für die Gletscher- und Klimageschichte. In: Kat. Ausst. Peter und Samuel Birmann. Künstler Sammler, Händler, Stifter. Kunstmuseum Basel 27.09.1997-11.01.1998: 59-74 Basel.
- ZUMBÜHL, H. J. 1998: Von den «abscheulichen Eisbergen» zu den blauen Gletschern des «Atlas Suisse» – Gletscher und Karte am Ende des 18. Jahrhunderts. In: Der Weltensammler. Eine aktuelle Sicht auf die 16'000 Landkarten des Johann Friedrich von Ryhiner (1732-1803). Kat. Ausst. Schweizerisches Alpines Museum.

Adresse der Autoren

Prof. Dr. Wilfried Häberli, Geographisches Institut der Universität Zürich, Winterthurerstrasse 190, CH-8057 Zürich

PD Dr. Heinz J. Zumbühl, Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, CH- 3012 Bern