

Zeitschrift: Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft Bern
Herausgeber: Geographische Gesellschaft Bern
Band: 62 (2007)

Artikel: Glaziologie : Annäherung an 3500 Jahre Gletschergeschichte
Autor: Zumbühl, Heinz J. / Holzhauser, Hanspeter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-960377>

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.](#)

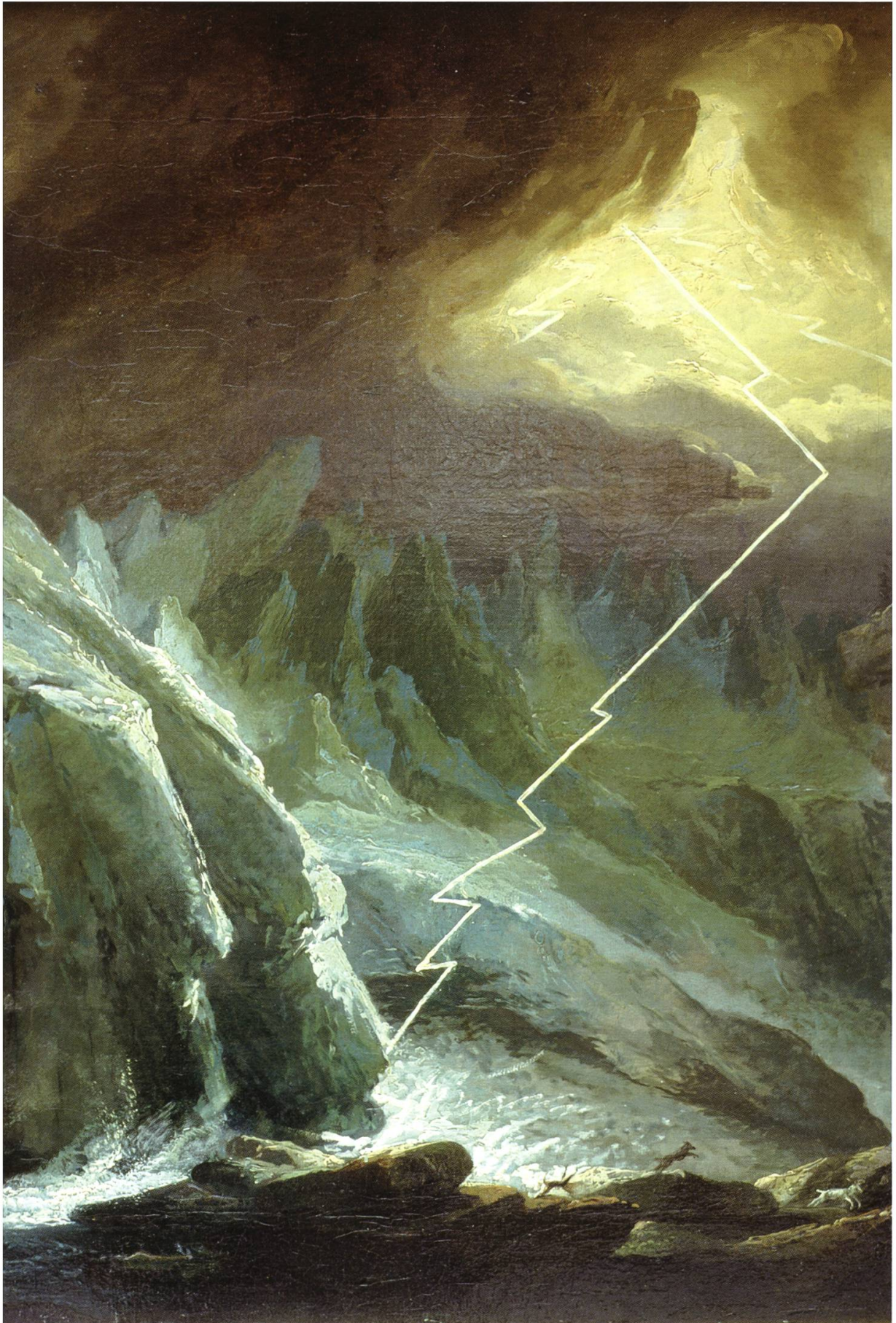
Download PDF: 03.04.2025

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

Glaziologie – Annäherung an 3500 Jahre Gletschergeschichte

Heinz J. Zumbühl · Hanspeter Holzhauser





Einführung

3

Das Welterbe Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn umfasst mit ca. 353 km² die grösste zusammenhängende Eisfläche der Alpen. Diese setzt sich aus 167 Gletschern zusammen, wovon 129 zum Teil namenlose Gletscher unter 1 km² sind. Das Herzstück ist zweifellos der Grosse Aletschgletscher; aber auch der Fieschergletscher, der Unteraargletscher, der Oberaletschgletscher und der Untere Grindelwaldgletscher weisen beachtliche Dimensionen auf (Tab. 1).

Name des Gletschers	Grosser Aletsch-gletscher	Oberaletsch-gletscher	Fiescher-gletscher	Unterer Grindelwald-gletscher	Unteraar-gletscher
Länge [km]	23.2	8.9	15.0	8.85	12.2
Fläche [km ²]	81.7	19.1	31.2	20.6	26.7
Höchste Erhebung [m ü.M.]	4158	3822	4049	4107	3914
Gletscher-ende [m ü.M.]	1557	2144	1681	1297	1930

Tabelle 1: Kenndaten der grössten Gletscher im Welterbe Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn (Längendaten für 2001, VAW/SANW 2002; Flächendaten für 1998, Paul 2003; Höhenangaben gemäss neuester LK; alle Daten vom Unteren Grindelwaldgletscher von 2004, Steiner et al. 2007).

Diese Eisflächen mit ihren imposanten Viertausendern weckten schon früh das Interesse von ersten Alpinisten und waren deshalb Ziel zahlreicher «Gletscherfahrten». So war die Familie Meyer aus Aarau zu Beginn des 19. Jahrhunderts massgeblich an der Entdeckung der Berner Alpen und ihrer Gletscher beteiligt. Die beiden Söhne unternahmen erste Begehungen der Eismeere in den Berner Alpen und waren bei der Erstbesteigung der Jungfrau 1811 beteiligt.

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts stand aber nicht nur alpinistische Liebhaberei im Vordergrund, vielmehr rückten die Gletscher ins Zentrum des wissenschaftlichen Interesses. Denn unter den Gelehrten entbrannte ein heftiger Streit über die damals von Ignaz Venetz, Jean de Charpentier und Louis Agassiz formulierte Eiszeittheorie. Einer der ersten, der folgerichtig argumentierte, man müsse dazu die Gletscher vor Ort studieren, war Franz Joseph Hugi. Seine Untersuchungen auf dem Unteraargletscher von 1827 bis 1831 hatten Pioniercharakter und legten den Grundstein für die systematische und experimentelle Gletscherforschung von Louis Agassiz und seinen Mitarbeitern.

Die eingangs namentlich erwähnten Gletscher dominieren deshalb das Welterbe-Gebiet nicht nur ihrer Dimensionen wegen, sondern sind auch wissenschaftlich und wissenschaftshistorisch von grosser Bedeutung, so der Grosse Aletschgletscher, dessen Geschichte 3500

Jahre zurückverfolgt werden kann, der Untere Grindelwaldgletscher als bestdokumentierter Gletscher der Alpen bezüglich historischer Schrift- und Bildquellen sowie der Unteraargletscher als Wiege der modernen Glaziologie.

Der Grosse Aletschgletscher

«Der Aletschgletscher ist der grösste und schönste der schweizerischen Gletscher» (Desor/Vogt 1847: 388). Diese Aussage von E. Desor, dem langjährigen Freund und Begleiter von Louis Agassiz, gemacht nach der Besteigung der Jungfrau 1841, gilt wohl auch heute noch.

Mit einer Fläche von 81.7 km² (1998) und einer Länge von 23 km (2005) ist der Grosse Aletschgletscher sowohl der grösste als auch der längste Alpengletscher. Sein Nährgebiet wird im Norden gesäumt von bekannten Viertausendern wie der Jungfrau (4158 m), dem Mönch (4107 m) und dem Gross Fiescherhorn (4048.8 m) und umfasst die Firnmulden Grosse Aletschfirn, Jungfraufirn, Ewigschneefeld und Grüneggfirn (von West nach Ost), die am Konkordiaplatz zusammenfliessen und mächtige Mittelmoränen – die Kranzberg- und Trugbergmoräne – bilden. Mit ihrer geschwungenen Form prägen diese Mittelmoränen das Aussehen des Grossen Aletschgletschers. Am Konkordiaplatz, der seinen Namen 1859 vom Engländer J. F. Hardy im Vergleich mit der «Place de la Concorde» in Paris erhielt, ist das Eis über 900 m dick. Vom Konkordiaplatz aus fliesst die breite, von zahlreichen Spalten durchsetzte Gletscherzunge in einem weit ausholenden Bogen Richtung Südosten und biegt dann auf der Höhe des ehemaligen Märjelensees (in der Senke zwischen Strahlhorn und Eggishorn) nach Südwesten zum Rhonetal ab. Das Zungenende des Grossen Aletschgletschers reicht bis tief in die Nadelwaldstufe hinein, wo der Gletscher inmitten abgeschliffener Felsbuckel und zerrüttetem Fels auf 1600 m ü.M. endet.

Der ab Mitte des 19. Jahrhunderts anhaltende Temperaturanstieg ist auch am Grossen Aletschgletscher nicht spurlos vorübergegangen. Sein Zungenende hat sich seit dem letzten Hochstand um 1859/60 etwa 3.4 km talaufwärts verlagert, und die vergletscherte Fläche hat von ca. 105 km² (Wipf 1999: 291) um knapp ein Viertel abgenommen. Verbunden mit diesem Längen- und Flächenschwund ist auch eine beachtliche Dickenänderung, die seit 1927 teils regelmässig erfasst wird. Gegenüber dem letzten Hochstand um 1859/60 liegt heute am Konkordiaplatz die Gletscheroberfläche um mehr als 120 m beim Silbersand (Zungenende unterhalb Aletschwald) sogar um 330 m tiefer. An der Oberfläche in Gletschermitte, rund einen halben Kilometer südlich des Konkordiaplatzes, wurden mit 195–205 m/Jahr die grössten Fliessbeträge gemessen. Im Bereich des Aletschwaldes fliesst das Eis noch mit 74 bis 86 m/Jahr talabwärts (Aellen und Röthlisberger 1981: 87–89).

Der heute leider kaum mehr wahrnehmbare Märjelensee (s. Lütshg 1915) zählte noch bis ins 20. Jahrhundert hinein zu den schönsten Gletscherrandseen der Alpen und war deshalb ein beliebter Anziehungspunkt für Touristen (Abb 1).



Abbildung 1:
Der Märjensee mit dem
Mittelaletschgletscher und
dem Olmenhorn im Hinter-
grund.

Oben: Johann Rudolf
Bühlmann, 1835 (1859), Öl
auf Leinwand (und Karton),
19.4 x 14.4 cm, Graphische
Sammlung ETHZ.

Mitte: Der Märjensee 1976.

Unten: Der ausgelaufene
Märjensee 1994.

(Fotos: H. J. Zumbühl)

Der tiefblaue See mit den aufschwimmenden Eisblöcken verlieh zusammen mit der kargen und steinigen Umgebung der Landschaft ein arktisches Gepräge, und man fühlte sich um einige Breitengrade nach Norden versetzt. Infolge des ausgeprägten und anhaltenden Eisschwundes sank jedoch die Oberfläche des Grossen Aletschgletschers stark ab, und die einstige Eisbarriere verlor an Mächtigkeit. Heute ist vom einstigen Prunkstück nur noch ein kleines, hauptsächlich im Frühjahr sich bildendes Seelein übrig geblieben. Der Märjelensee stellte in früherer Zeit, als der Grosse Aletschgletscher noch viel mächtiger war als heute, eine ständige Bedrohung für die einheimische Bevölkerung dar, da er sich in kurzer Zeit entleeren konnte. Durch eine schnell sich öffnende Grundspalte des Grossen Aletschgletschers flossen bei einem solchen Ausbruch die Wassermassen mit lautem Getöse unter dem Gletscher durch, teilweise sogar am Eisrand entlang, und verursachten bei Naters und in der Rhoneebene verheerende Überschwemmungen. Diese Wasserausbrüche wurden in einer der ältesten Sagen des Wallis mit den Wutanfällen des «Rollibock» gleichgesetzt, einem «Bozen» in Gestalt eines Bockes mit grossen Hörnern und einem mit Eisschollen behangenen Leib, der aus dem Gletschertor plötzlich hervorbrach (Guntern 1979: 655-656, Nr. 1714).

Die Zungenlängenänderungen des Grossen Aletschgletschers von 1500 v. Chr. bis heute

Der Grosse Aletschgletscher darf neben dem Unteren Grindelwaldgletscher bezüglich Gletschergeschichte als weltweit einer der bestuntersuchten Gletscher eingestuft werden. In langjähriger Forschungsarbeit konnten mit unterschiedlichen Methoden (glaziologische Methode, Auswertung historischer Bild- und Schriftquellen, Geländearchäologie und Glazialmorphologie) seine Vorstoss- und Rückschmelzphasen bis 1500 v. Chr. zurück jahrgenau verfolgt werden (Holzhauser 1984; Holzhauser et al. 2005).

Historische Dokumente

Obwohl der Grosse Aletschgletscher zu den bekanntesten Eisströmen der Schweizer Alpen gehört, liegen weit weniger historische Dokumente vor als dies beim Unteren Grindelwaldgletscher der Fall ist. Der Grund mag wohl einerseits darin liegen, dass der Grosse Aletschgletscher nicht so einfach erreichbar war wie der Untere Grindelwaldgletscher, der in unmittelbarer Nähe eines Bergdorfes stirnte. Andererseits war er vom Haupttal, dem Rhonetal, dem Blick entzogen und wurde so erst spät mit dem aufkommenden Tourismus auf der Rieder alp und der Belalp wahrgenommen, wovon zahlreiche Postkarten ab ca. 1890 mit Blick von der Belalp auf den Gletscher zeugen. Einzelne wenige Künstler und Fotografen scheuten allerdings den Weg zum Grossen Aletschgletscher nicht, so dass trotzdem einige äusserst aussagekräftige und wertvolle Bilddokumente greifbar sind, die den Gletscher während seiner letzten grossen Vorstossphase um die Mitte des 19. Jahrhunderts und während seines



Abbildung 2: Henri Hogard, 1849. Der vorrückende Grosse Aletschgletscher drückt hochstämmigen Wald um und überdeckt mit seiner Moräne den alten Aletschweg (rechts im Bild). Farblithographie, 51.0 x 33.2 cm, Graphische Sammlung Zentralbibliothek Zürich.

Hochstandes festhalten. Aus dem Jahr 1849 datieren Zeichnungen und eine Lithographie des Künstlers Henri Hogard, die den damals bedrohlich vorstossenden Gletscher zeigen und die Spuren seiner zerstörerischen Wirkung festhalten. Diese Bilddokumente sind eindeutige Beweise, dass der Gletscher bei seinen Vorstössen Kulturland, Wege und Alphütten in Mitleidenschaft gezogen hatte (Abb. 2). Deshalb erstaunt es nicht, dass die Talbewohner bereits beim Vorstoss im 17. Jahrhundert aufgeschreckt wurden und im Jahr 1653 eine Prozession unternahmen, um den Gletscher an seinem weiteren Vorrücken zu hindern.

Eine erneute Gletscherbannung wurde 1818 im Üsseren Aletschji durchgeführt. Damals stellte man in unmittelbarer Nähe des Gletschers zwei Holzkreuze auf, eines auf der «Baselflie» und eines auf der «Obflieregga» (dieses vermutlich um ein Vordringen des Oberaletschgletschers abzuwenden; s. Abb. 3).

Eine Fotografie von Frédéric Martens zeigt den Grossen Aletschgletscher um 1856 von der Belalp aus gesehen kurz vor dem Hochstand 1859/60 (Abb. 4).

Einem schon früh entbrannten Grenzstreit zwischen den Walliser Gemeinden Ried-Mörel, Mörel und Bitsch einerseits sowie den Gemeinden Naters und Rischinen andererseits ist es zu verdanken, dass wir Kenntnis von der Ausdehnung des Grossen Aletschgletschers um die Mitte des 18. Jahrhunderts haben. Zu den Gerichtsakten gehört auch ein Plan aus

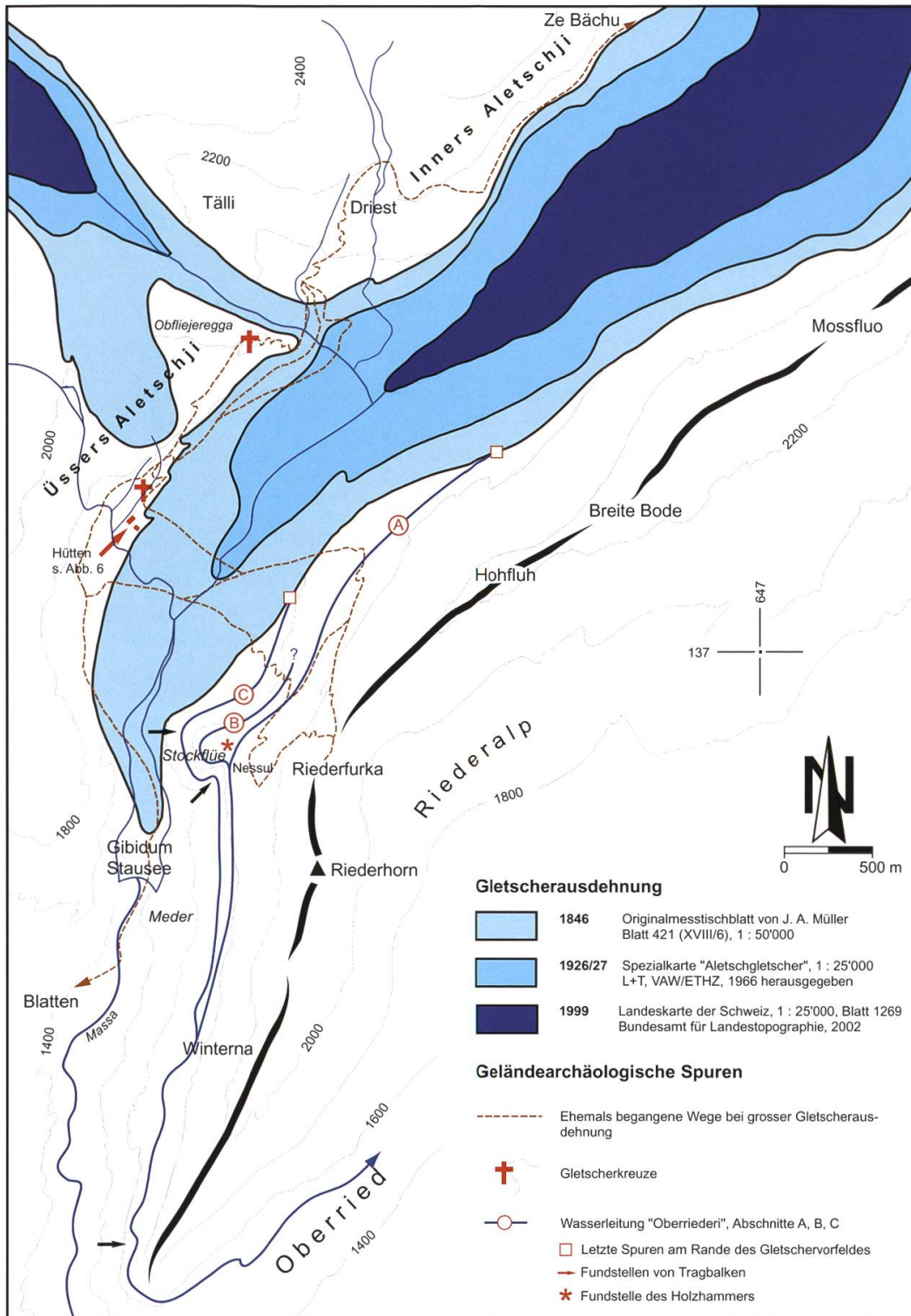


Abbildung 3: Karte mit verschiedenen Ausdehnungen des Grossen Aletschgletschers und geländearchäologischen Spuren.

Abbildung 4 (rechts): Der Grosse Aletschgletscher im Wandel der Zeit – Realität und Fiktion. a) Eisenzeit/ Römerzeit (ca. 200 v. Chr. – 50 n. Chr.), b) 1856, c) 2000 und d) um 2050 (vergleichbar mit dem Optimum der Bronzezeit). Die Gletscherausdehnungen a) und d) sind aufgrund gletschergeschichtlicher Methoden rekonstruiert bzw. prognostiziert. Foto von 1856: Frédéric Martens, Alpine Club Library London. (Repro: H.J.Zumbühl, Copyright H. Holzhauser)



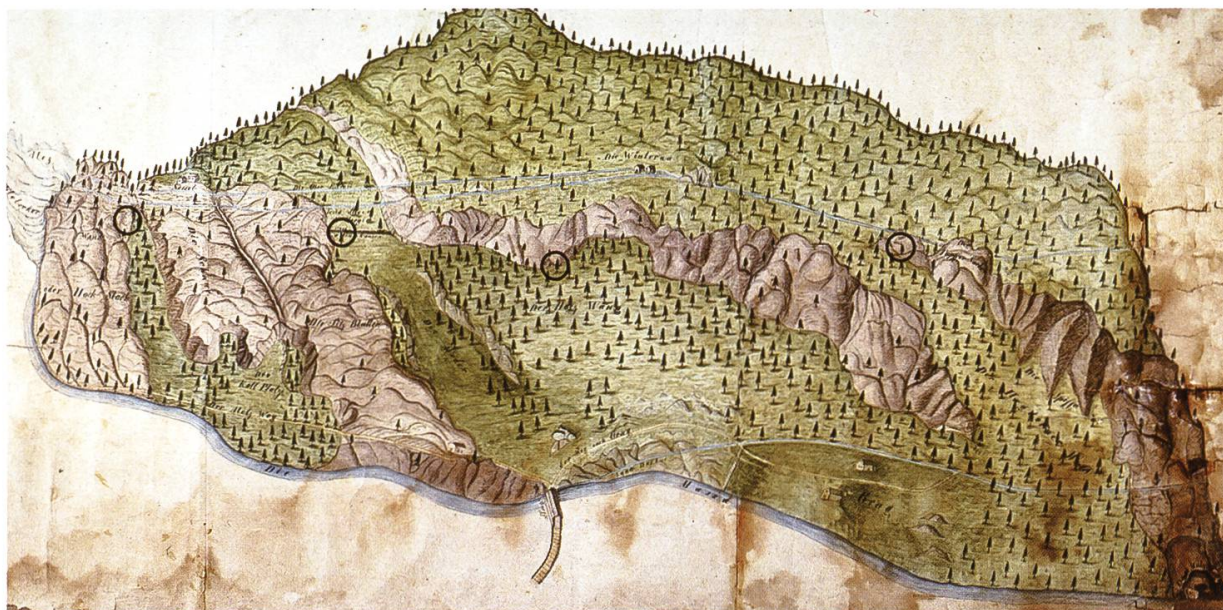


Abbildung 5: Der alte Plan aus den Jahren 1855/56 (getreue Kopie eines Planes von 1754/55). Die Kreislein bezeichnen die Marchen 1756, 1756, 1755, 1756 (v.l.n.r.). Links im Bild ist das Zungenende des Grossen Aletschgletschers erkennbar (Plan divers No. 42, 124 x 67 cm, Kantonsarchiv Sitten).

dem Walliser Kantonsarchiv in Sitten (Abb. 5), auf dem die Westflanke des Riederhorns – als höchste Erhebung erkennbar – dargestellt ist. Die Massa, der Abfluss des Grossen Aletschgletschers, bildet nach unten die Grenze des dargestellten Gebietes. Ganz links hat der Zeichner das Zungenende des Grossen Aletschgletschers («Alez Gletscher») festgehalten.

Die Topographie ist auf dem Plan erstaunlich gut festgehalten, und deshalb lässt sich die Lage der Gletscherzunge um 1754/55 relativ genau abschätzen: Der Grosse Aletschgletscher wies damals etwa eine Ausdehnung wie um 1890 auf und war somit 900 bis 1000 m kürzer als während seines letzten Hochstandes um 1859/60.

Geländearchäologische Befunde

Nicht nur Wald, sondern auch der ehemalige Alpweg von Naters und Blatten ins Üssere Aletschji wurde während des Hochstandes um 1859/60 in Mitleidenschaft gezogen. Diesen Weg sieht man auf der Lithographie von Hogard (rechts unten in Abb. 2) und auf dem alten Plan von 1754/55 (Abb. 5). Er führte über die Gebidembrücke, entlang der Massa und über den Gletscher ins Üssere Aletschji. Von da aus stieg man bei Gletscherhochstand auf die Obfliejeregga und dann einem steilen Weg folgend an den Rand der linken Zunge des Oberaletschgletschers (Abb. 3). Noch heute sind Spuren dieses Weges am Rande der Oberaletschschlucht zu sehen. Nach dem Überqueren des Eises erreichte man die erste Alp im Inneren Aletschji, das Tälli. Von hier aus führte der Weg weiter in die Alpen Driest, Ze Bächu und schliesslich in die Olmen beim Mittelaletschgletscher.

Schon bald nach dem Hochstand um 1859/60 bildete sich die Zunge des Oberaletschgletschers zurück und beidseits der Schlucht taten sich steile, unüberwindbare Felswände auf.

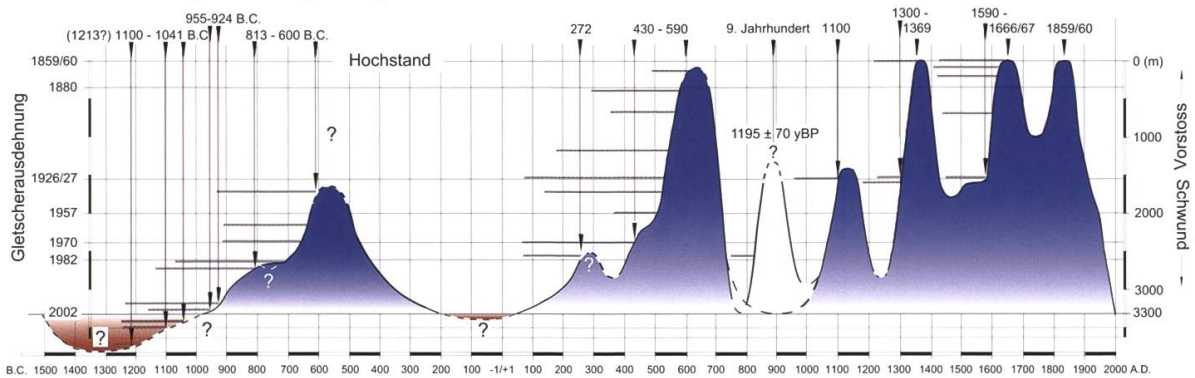
Das Schwinden des Oberaletschgletschers zwang die Natischer, einen anderen Übergang ins Innere Aletschji zu suchen. Der neue Weg führte über das Eis des Grossen Aletschgletschers, das den Schluchtausgang noch auszufüllen vermochte (Abb. 3). Mit der Zeit sank aber auch die Oberfläche des Grossen Aletschgletschers weiter ab, und hindernde Felswände kamen zum Vorschein. Um 1935 trieb man zum letzten Mal Kühe ins Innere Aletschji und anfangs der 1940er Jahre nur noch vereinzelt Rinder. Schliesslich musste dieser Weg aufgegeben und ein neuer Weg in die Felsen der Oberaletsch-Schlucht gesprengt werden, der heute das Üssere mit dem Inneren Aletschji verbindet.

Um also in früherer Zeit ins Innere Aletschji zu gelangen, bedurfte es mindestens einer Gletscherausdehnung wie um 1935/40. Hinweise, dass dies im Mittelalter und in der frühen Neuzeit der Fall gewesen war, liefern alte Dokumente, in denen von der Nutzung der Alpen im Inneren Aletschji die Rede ist. Das älteste bekannte Dokument stammt aus dem Jahre 1404. Aus dem 15. und dem 16. Jahrhundert sind weitere Kauf- und Tauschverträge die Alpen Tälli, Driest, Ze Bächu und Olmen betreffend greifbar. Aus dem 17. und 18. Jahrhundert sind ebenfalls Alprechtsverträge vorhanden, doch weiss man aus anderen Quellen (fossile Hölzer, Gletscherbannung, alter Plan), dass der Grosse Aletschgletscher sehr ausgedehnt war, um 1666/67 erreichte er sogar einen Hochstand. Auch in den nachfolgenden Jahrhunderten bis um 1940 war der Weg entweder über das Eis des Oberaletsch- oder des Grossen Aletschgletschers begehbar. Während rund 535 Jahren also, von mindestens 1404 bis 1935/40, war der Grosse Aletschgletscher folglich nie kleiner als um 1935/40.

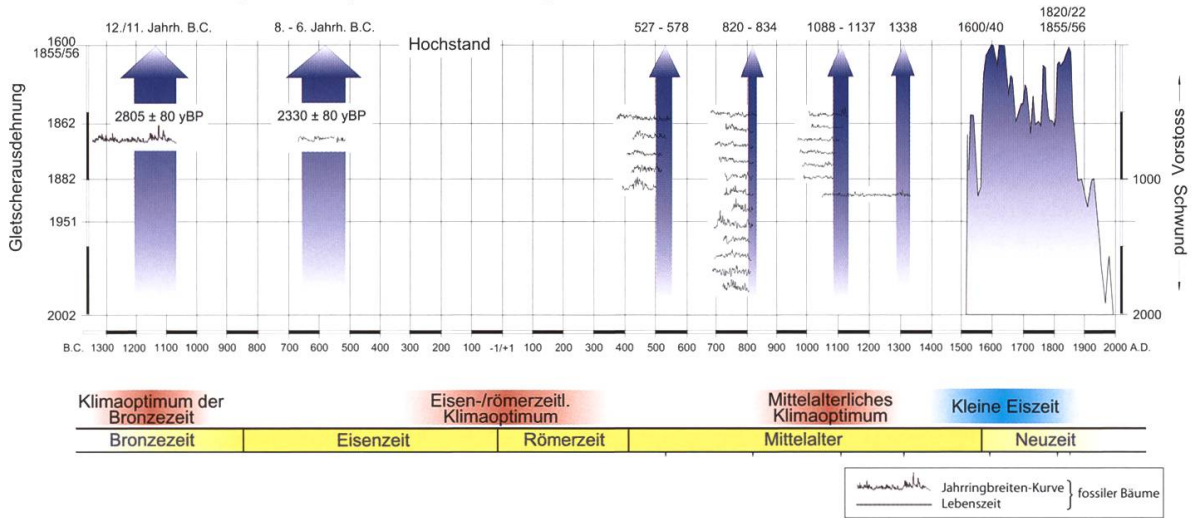
Fossile Böden und Bäume aus dem Gletschervorfeld

Wie erwähnt, reicht die Zunge des Grossen Aletschgletschers bis in die Nadelwaldstufe hinab. Bei Vorstössen drang der Gletscher in bewaldetes Gebiet vor und begrub Boden und Bäume unter sich (Abb. 2). Während der heute andauernden und beschleunigten Schwundphase kamen und kommen immer wieder Reste von solchen Bäumen (Stämme, Wurzelstöcke, Stamm- und Wurzelteile) sowie Böden zum Vorschein, die der Gletscher einstmals unter sich begraben hat. Diese organischen Reste lassen sich mit der Radiokarbonmethode datieren und so kann auch der Gletschervorstoss zeitlich eingeordnet werden. Das Alter von fossilen Bäumen, die gut erhalten sind, lässt sich häufig auch mit der Dendrochronologie jahrgenau bestimmen (Holzhauser 2002). Um zuverlässige Anhaltspunkte über die jeweilige Gletscherausdehnung zu erlangen, müssen die Baumteile noch am ursprünglichen Wuchsort (in *situ*) vorgefunden werden. Die Hölzer und Böden stammen nicht nur aus der Zeit der letzten Vorstossphase im 19. Jahrhundert, sondern können hunderte bis tausende von Jahren alt sein, denn innerhalb der Nacheiszeit (Postglazial), die vor 11700 Jahren begann, wechselten sich Vorstoss- und Schwundphasen mit einer Wiederbesiedlung des Gletschervorfeldes durch Bäume mehrmals ab.

Grosser Aletschgletscher (Wallis)



Unterer Grindelwaldgletscher (Berner Oberland)



© H. Holzhauser

Abbildung 6: Zungenlängenänderungen des Grossen Aletschgletschers und des Unteren Grindelwaldgletschers (Holzhauser et al. 2005).

Zusammenfassung der Gletschergeschichte

Die Rekonstruktion der Zungenlängenänderungen des Grossen Aletschgletschers gelang im jüngsten Zeitabschnitt mit der Auswertung historischer Quellen und geländearchäologischer Spuren. Im älteren Zeitabschnitt kam die Datierung fossiler Bäume zum Zuge. Bis jetzt konnten am Grossen Aletschgletscher während den letzten 3500 Jahren insgesamt sieben (evtl. acht) Vorstossphasen sowie drei Schwundphasen, während denen der Grosse Aletschgletscher teilweise kleiner war als heute, nachgewiesen werden (Abb. 6).

1. Nach längerer Zeit geringer Ausdehnung während der Bronzezeit – der Grosse Aletschgletscher war zwischen ca. 1350–1300 v. Chr. rund 1000 m kürzer als heute – stiess der Grosse Aletschgletscher zwischen 1200 und 600 v. Chr. vor und erreichte mindestens die Ausdehnung von 1926/27. Das genaue Ausmass dieser Vorstossphase ist nicht bekannt.

2. Während der anschliessenden und langandauernden Schwundphase war der Gletscher zwischen ca. 200 v. Chr. und 50 n. Chr. etwas kleiner als heute. In den folgenden rund 650 Jahren stiess der Grosse Aletschgletscher zuerst langsam, dann beschleunigt vor und erreichte um 600–650 n. Chr. mindestens eine Ausdehnung wie um 1885 (vermutlich sogar einen Hochstand).
3. In den darauffolgenden rund 1350 Jahren bewegte sich der Grosse Aletschgletscher innerhalb einer Bandbreite, die ungefähr durch die heutige Ausdehnung des Gletschers und des Moränenwalls vom letzten Hochstand um 1859/60 gegeben ist. Die heutige Ausdehnung wurde kaum unterschritten.
4. Hervorgehoben werden muss die Kleine Eiszeit, die im Anschluss an das Mittelalterliche Klimaoptimum (ca. 750–1300) um 1300 begann und bis um 1859/60 andauerte. Charakterisiert ist dieser überwiegend kühlere Zeitraum durch drei Vorstossphasen mit anschliessenden Hochständen. Dendrochronologisch absolute Datierungen an fossilen Bäumen weisen darauf hin, dass der Grosse Aletschgletscher einige Jahre nach 1369 (vermutlich um 1380) und um 1666/67 einen Hochstand erreichte. Ein schwacher Vorstoss ist um 1500 ebenfalls dendrochronologisch dokumentiert.

Der letzte Hochstand um 1859/60 ist durch historische Quellen gut belegt. Zwischen 1860 und 1865 trat die heute noch anhaltende Schwundphase des Grossen Aletschgletschers ein. Wie Abbildung 6 zeigt, wird heute der «wärmere» Bereich der Nacheiszeit bereits wieder erreicht.

Der Untere Grindelwaldgletscher

«Hier sieht man die beyden Grindelwaldgletscher sich bis in das fruchtbare Thal herabsenken und dadurch eine der seltsamsten, contrastreichsten und schönsten Ansichten der Alpen liefern: südlich neben sich hat man die scheussliche Felswand des Eygers...» H. C. Escher von der Linth (1797: 11) zeichnete dieses klassische Bild beim Aufstieg zur Kleinen Scheidegg.

Die ausserordentlich tiefe Lage der Eisstirn des Oberen und Unteren Grindelwaldgletschers sowie die leichte Zugänglichkeit machten diese Eisströme seit dem 18. Jahrhundert zu einem einzigartigen Reiseziel und Studienobjekt. Der Untere Grindelwaldgletscher weist eine Zungenlänge von 8.85 km und eine Fläche von 20.6 km² auf (Werte für 2004, Steiner et al. 2007). Das gegen N-NW exponierte Nährgebiet ist in zwei grössere Firnmulden gegliedert, denen je ein Gletscher entströmt: das Obere und Undere Ischmeer im Osten sowie der Berner Fieschergletscher im Westen. Diese beiden Gletscher flossen zusammen und bildeten die Zunge des Unteren Grindelwaldgletschers, kurz auch Unterer Gletscher genannt. Die Zunge des Unteren Gletschers wird heute nur noch vom Berner Fieschergletscher genährt. Das von Osten zuströmende Undere Ischmeer versorgt den Unteren Grindelwaldgletscher kaum mehr mit Eis. Die anfangs wenig geneigte Firnregion des Fieschergletschers bricht

oberhalb der «Heissi Blatta» auf und lässt die stark zerklüfteten, in zahlreiche Séracs aufgelösten Eismassen über eine Felsstufe dem Unteren Grindelwaldgletscher zufließen. Die «Heissi Blatta», ein markanter Felskopf inmitten des Eisabbruches, war auch zur Zeit grosser Gletscherausdehnung eisfrei. In unregelmässigen Abständen brechen Eisblöcke aus dem Gletscher und fallen auf die «Heissi Blatta», wo sie zerbersten, als Eislawine hinunterstürzen und auf dem flach auslaufenden Unteren Gletscher in einer Eishalde zum Stillstand kommen. Der Untere Grindelwaldgletscher endet heute in einer engen Schlucht mit vom Gletscher blankgeschliffenen Kalkfelsen auf ca. 1300 m ü.M.

Da das Zungenende des Unteren Grindelwaldgletschers während der Kleinen Eiszeit oft bis in den Talboden vorstiess und damit in unmittelbarer Nähe des Dorfes endete, gehört er seit dem 18. Jahrhundert zu den bekanntesten und meistbesuchten Eisströmen des ganzen Alpenraumes. Entsprechend einzigartig ist die Zahl (mehr als 360 Bildquellen vor 1900) und zum Teil auch die Qualität der historischen Bild- und Schriftquellen (Zumbühl 1980). Zusammen mit den vor allem in den Ufermoränen Stieregg und Zäsenberg gefundenen fossilen Böden und Hölzern war es möglich, die Geschichte des Unteren Grindelwaldgletschers für die letzten 3200 Jahre zu rekonstruieren, wobei wegen der Fülle der Quellen für die letzten 300 Jahre eine Genauigkeit erreicht wird, wie sie bei den meisten übrigen Alpengletschern nicht möglich ist (Holzhauser und Zumbühl 1996).

Vermutlich zum ersten Mal in der Alpen Glaziologie wurde zudem eine neue Methode basierend auf neuronalen Netzwerken am Unteren Grindelwaldgletscher angewandt (Steiner 2005). Zum einen wurden zukünftige Gletscherlängenveränderungen simuliert, indem regionale Klimaszenarien für den Alpenraum für die Periode 2000–2050 benutzt wurden. Das wohl realistische Klimaszenario mit erhöhten Temperaturen und wechselnden saisonalen Niederschlagsentwicklungen sagt einen kontinuierlichen und rasanten Gletscherrückgang voraus. Zum andern wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, welche die wechselnden klimatischen Einflussfaktoren wie saisonale Temperatur und Niederschlag auf verschiedene Vorstösse und Rückzüge des Unteren Grindelwaldgletschers zu bestimmen versucht. Es konnte gezeigt werden, dass verschiedene Kombinationen von saisonaler Temperatur und saisonalem Niederschlag einen Gletschervorstoss bzw. -rückzug auslösen können. Der Vorstoss um 1820 war vermutlich durch tiefe Sommertemperaturen und hohe Herbstniederschläge gesteuert.

Historische Dokumente zur Gletschergeschichte des 17. bis 19. Jahrhunderts

Die besonders wertvolle Resultate liefernden Bilddarstellungen können in drei Zeitabschnitte zusammengefasst werden: frühe, eher isoliert auftretende Quellen im 17. und 18. Jahrhundert (bis ca. 1770); der künstlerische Höhepunkt der Gemälde und Zeichnungen zwischen 1770

und 1835 und die ab 1850 auftretenden, in der topografischen Bildqualität revolutionären und rasch in grosser Zahl sich verbreitenden Fotografien.

3

Isoliert auftretende Quellen im 17. und 18. Jahrhundert

Eindeutig im 17. Jahrhundert entstanden sind nur die Radierung nach einer Vorlage von Joseph Plepp (erschieden in der «Topographia helvetiae» von 1642, gestochen von Matthäus Merian, Zumbühl et al. 1983: 29, Abbildung K1) sowie das auf 1669 datierte, in Feder und Wasserfarbe ausgeführte Grindelwaldpanorama von Albrecht Kauw (Abb. 7). Zu den herausragenden Darstellungen des 18. Jahrhunderts gehören das Gemälde von F. Meyer, die Ölskizze von J. R. Huber, das Ölgemälde von Emanuel Handmann von 1748/49 und vor allem auch die Gletscherschluchtdarstellung von J. L. Aberli von 1763–67 (Zumbühl et al. 1983: 39), wobei in allen vier Quellen der Eisstrom auf den Schopffelsen endet.

Gemälde und Zeichnungen zwischen 1770 und 1835

Einen künstlerischen Höhepunkt bilden die zwischen 1774 und 1778 entstandenen einzigartigen Gletscheransichten von Caspar Wolf (1735–1783) (Abb. 8). Wolf wagte sich als einer der Ersten in die Hochalpen, wo er Fels und Eis an Ort und Stelle, sogar im Winter erfasste. Wolf ist der bedeutendste Vertreter der Schweizer Landschaftsmalerei des späten 18. Jahrhunderts, die das Naturgefühl der Vorromantik stark beeinflusste. Eines der dramatischsten und faszinierendsten Gletscherbilder, das je geschaffen worden ist zeigt den Unteren Grindelwaldgletscher während eines heftigen Gewitters mit Blitzschlag (s. Titelbild S. 48). Die steile, chloritgrüne Stirnzone und die in zahlreiche Séracs aufgelöste Eisoberfläche sind charakteristische Merkmale von vorstossenden Gletschern.



Abbildung: Albrecht Kauw, 1669. Der vorstossende Untere Gletscher (Ausschnitt aus Panorama von Grindelwald. Feder, Aquarell, 27.8 x 79.8 cm, Historisches Museum Bern).



Abbildung 8: Caspar Wolf, ca. 1778. Blick von der Bänisegg auf das Schreckhorn und den Ischmeerteil des Unteren Grindelwaldgletschers. Öl auf Leinwand 54.2 x 82.0 cm. Privatbesitz Basel.



Abbildung 9: Joseph Anton Koch, 1794 (1823).
*Der Untere Gletscher auf den Schopffelsen. Öl auf
 Leinwand, 88.5 x 122.5 cm, Muzeum Narodowe
 we Wrocławiu, Wrocław (Breslau)/Polen.*

Dass der Untere Gletscher auch bei einer Zungenendlage im Schopffelsbereich sehr attraktiv war, beweist der Klassizist Joseph Anton Koch auf seinem 1823 in Rom geschaffenen Gemälde (Abb. 9), das allerdings den Eisstrom mit der Ausdehnung von 1794 zeigt, als er in Grindelwald die Naturstudie anfertigte (Zumbühl 1980).

Einen weiteren Höhepunkt in der Gletschermotivgeschichte bilden die einem frühromantischen Realismus verpflichteten, in den Jahren 1814 bis 1835 entstandenen 100 Gletscheransichten (rund ein Viertel davon allein vom Unteren Grindelwaldgletscher) von Samuel Birmann (1793–1847; Zumbühl 1997). Wenn Caspar Wolf die Gletscher in formaler, atmosphärischer und symbolhafter Hinsicht am besten erfasst hat, so steht Birmann an der Spitze, wenn die topographischen und zeichnerischen Qualitäten gemessen werden. Seine zumeist aquarellierten Bleistiftstudien umfassen das ganze Spektrum der bekannteren Gletscherphänomene (zum Beispiel: Gletscherschlucht, Gletschertor, Gletschermühle, Gletschertisch, Gletscherspalte) und erreichen die Genauigkeit fotografischer Aufnahmen. Schön zu sehen ist dies auf einer aquarellierten Zeichnung vom Juli 1826, wo der damals an dieser Stelle ca. 400 m mächtige Eisstrom (heute nur noch nackte, glatt polierte Felswände) als gewaltiges System von Eisspalten und Séracs dargestellt ist (Abb. 10). Ab 1820/22 hatte sich beim Unteren Gletscher der Schweif (vorgestossene Zungenfront im Talboden) gebildet. Die sehr genau erfasste Topographie, v.a. ein zwischen Eisstirn und Moränen liegendes Gehölz im Gletschervorfeld, schliesst die früher in der Literatur vermutete Hypothese eines historischen Hochstandes des Unteren Gletschers um 1822 endgültig aus (Zumbühl 1997).

Fotografien ab Mitte des 19. Jahrhunderts

Die grösste und sehr imposante Ausdehnung des Unteren Grindelwaldgletschers im 19. Jahrhundert 1855/56 ist dank der kurz zuvor neu entwickelten Technik der Fotografie gut dokumentiert (Abb. 11). Besonders beliebt waren bei der rasch wachsenden Zahl von interessierten Reisenden die stereoskopischen Fotografien, dank des stereoskopischen Effektes



Abbildung 10: Samuel Birmann, 1826. Seitenansicht des Unteren Grindelwaldgletschers mit Blick gegen Ostegg und Hörnligrat. Bleistift, Aquarell, 28.8 x 21.6 cm. Kupferstichkabinett Kunstmuseum Basel.



Abbildung 11: Links: Frédéric Martens, 1856/1858. Die imposanten Eismassen des Unteren Gletschers mit dem Schweif. Fotografie, Alpine Club Library London. (Repro: H.J. Zumbühl). Rechts: Der Untere Gletscher vom Talboden (1974; H. J. Zumbühl) und von der Gletscherschlucht (2006; S. U. Nussbaumer) aus gesehen.

besonders spektakulär und, da kleinformig, durchaus preiswert. Die Gletscher waren nun dank der Fotografie wissenschaftlich exakt abbildbar.

Fossile Bäume und Böden aus dem Gletschervorfeld

Aus den Ufermoränen Stieregg und Zäsenberg sind Proben an zehn fossilen Böden und 42 Baumstämmen entnommen worden, deren Radiokarbonalter zwischen 2800 und 300 yBP (yBP = Radiokarbonjahre vor «heute», d. h. vor 1950; Holzhauser, Zumbühl 1996) liegen.

Die Bäume selbst wurden zwischen 70 und 372 Jahre alt und weisen Sterbealter zwischen 700 und 2800 yBP auf. Bei den vielen Stammfunden drängte sich neben der Radiokarbonatierung auch eine dendrochronologische Analyse auf, da sich das Holz in einem sehr guten Zustand befand. Die Jahrringkurven von 24 Bäumen liessen sich gruppenweise miteinander synchronisieren (Abb. 6) und mit der Standardchronologie aus den Walliser Alpen absolut, d. h. jahrgenau, datieren (Holzhauser unpubl.).

Die Untersuchung der Holzproben zeigte auch, dass früher im Raume Stieregg und Zäsenberg drei Baumarten heimisch waren: die Fichte (*Picea abies*), die Arve (*Pinus cemb-*

ra) sowie der Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*). Auch die heute noch zahlreich (besonders bei der Bänisegg) vorhandenen Weiden- (*Salix spec.*) und Erlenbüsche (*Alnus spec.*) waren früher vertreten. Das heutige Fehlen der erwähnten Baumarten auf der Stieregg und am Zäsenberg ist nicht klimatisch bedingt, sondern dem Eingreifen des Menschen zuzuschreiben. Der älteste Baum starb um 1338, und es muss daher angenommen werden, dass der Mensch diese entlegene Region seit dem Spätmittelalter als Weideland zu Nutzen begann. Damit verschwanden auch die Bäume.

«Im Aspi», im Talbereich des Vorfeldes, zeugt das äusserste, etwa 50 m von den Wällen des 19. Jahrhunderts entfernte Moränenwallsystem von einer ehemaligen Zungenendlage des Unteren Grindelwaldgletschers im Talboden von Grindelwald. Von diesem Gletscherhochstand sind nurmehr einzelne Wallrelikte erhalten geblieben, denn durch menschliche Eingriffe wurde viel vom ursprünglichen Endmoränenwall abgetragen. In zwei künstlichen Aufschlüssen konnte ein offensichtlich vom Gletscher überschütteter Bodenhorizont freigelegt werden. Die Radiokarbondatierung des humosen Bodenmaterials ergab ein Alter von 350 ± 150 yBP. Dieses Datum deutet auf einen frühen neuzeitlichen Hochstand hin und erlaubt diesen – zusammen mit historischen Hinweisen – in die Zeit zwischen 1593 und 1606 einzuordnen. Pedologische und pollenanalytische Analysen bestätigten diesen Befund weitgehend. Den Untersuchungen zufolge drang der Untere Grindelwaldgletscher um 1600 in Gelände vor, das über einen längeren Zeitraum bewirtschaftet worden war (Zumbühl, Kienholz, Oeschger, Ammann in: Messerli et al. 1976; Zumbühl, 1980).

Zusammenfassung der Gletschergeschichte

Die historischen Bild- und Textquellen sowie eine grosse Zahl dendrochronologischer Daten liefern die folgenden gletschergeschichtlichen Resultate (Abb. 6; Zumbühl 1980; Holzhauser und Zumbühl 2003):

- Wie die Datierung fossiler Böden und Bäume aus verschiedenen Moränenprofilen ergeben hat, können sechs deutlich voneinander trennbare Vorstossphasen des Unteren Grindelwaldgletschers auseinandergehalten werden, nämlich im 12./11. Jh. v. Chr., im 8.–6. Jh. v. Chr., von 527–578 n. Chr., von 820–834 n. Chr., von 1088–1137 n. Chr., um 1338 n. Chr. und um 1600 n. Chr. (die grosse Ausdehnung des Unteren Grindelwaldgletschers während der zwei letzten Daten ist durch Schriftquellen belegt, 1338 n. Chr. auch dendrochronologisch). In Abbildung 6 sind die einzelnen vorneuzeitlichen Vorstossphasen mit durchgehenden Pfeilen angedeutet, da nicht bekannt ist, welche Ausmasse der Untere Grindelwaldgletscher bezogen auf seine Zungenlänge jeweils angenommen hat. Die Moränenwälle unterhalb der Bänisegg im südöstlichen Abschnitt der Ufermoräne sowie beim ehemaligen Bergrestaurant Stieregg dokumentieren nämlich, dass der Untere Grindelwaldgletscher während früherer Hochstandsphasen bedeutend breiter und

demzufolge – bei Hochständen jeweils gleiches Eisvolumen vorausgesetzt – auch kürzer war als während der neuzeitlichen Hochstände. Der stockwerkartig aufgebaute mittlere Abschnitt des Ufermoränenkomplexes weist darauf hin, dass der Untere Grindelwaldgletscher sein Bett nach jeder Vorstossphase erhöht und damit auch eingeeengt hat. Dies bedeutet, dass sich das Eisvolumen bei der Stieregg stetig verringert hat, und dass dadurch der Gletscher immer länger wurde und weiter unten im Tal endete.

Zwischen 1560 und 1860, also während der Kleinen Eiszeit, kann die Geschichte dieses Gletschers stark vereinfacht wie folgt zusammengefasst werden:

- Während längerer Zeit (jeweils um 1748/49, 1762, 1794, 1808) verharnte der Gletscher im Bereich der Schopffelsterrassen, etwa 1250 m vor dem heutigen Eiszungenende.
- Mindestens sechsmal kam es zu relativ kurzfristigen Vorstössen von 400–600 m, die zur Bildung des «Schweifes» führten – eine markante Eisranke, die weit vorgeschoben im Talboden endete. Dreimal wurden dabei Hochstände erreicht (um 1778/79, 1820/22, 1855/56; vgl. Abbildung 11), dreimal war die Ausdehnung bescheidener, z. B. 1669.
- Der um 1575 beginnende langandauernde Vorstoss von ca. 1000 m endete um 1600 mit der grössten Eisausdehnung während der Kleinen Eiszeit.
- Seit dem Ende der Kleinen Eiszeit schmolz der Untere Grindelwaldgletscher um beinahe zwei Kilometer bis auf den heutigen Stand in der Gletscherschlucht zurück (1860/61/72–2004). Die Eisfläche reduzierte sich um 5.5 km², das Eisvolumen um 1.56 km³. Die Eismächtigkeit nahm dabei um 0.42 m/Jahr ab (Steiner et al. 2007). Heute, zu Beginn des 21. Jahrhunderts, bietet der weitgehend zerfallene, vorwiegend aus Gesteinsschutt bestehende, wohl kaum mehr aktive Zungenteil (z. B. unterhalb der Stieregg) ein erbärmliches Bild. Der Kontrast zu den imposanten Eismassen im Talboden von Grindelwald Mitte des 19. Jahrhunderts könnte nicht grösser sein!

Der Unteraargletscher

«Je choisais pour théâtre de mes investigations, le glacier de l’Aar que j’avais déjà habité en 1840 et qui, par son étendu, son accès facile et la proximité de l’hospice du Grimsel, m’avait paru le plus approprié au but que je poursuivais.» (Agassiz 1847: III).

Die von Louis Agassiz hier angesprochenen Untersuchungen hatten zur Folge, dass man ohne Zweifel den Unteraargletscher als «Wiege» der gletscherkundlichen Feldforschung bezeichnen kann. Seine wissenschaftliche Stellung wird noch heute durch die Bezeichnung der umgebenden Gipfel – alles bekannte Namen der Alpenforschung wie Agassizhorn, Escherhorn, Grunerhorn, Scheuchzerhorn und Studerhorn – dokumentiert.

Beim Unteraargletscher, dem grössten Eisstrom im Einzugsgebiet des Rheins sowie in den Berner Alpen (dem viertgrössten der Alpen), handelt es sich um einen 12.2 km langen, im Mittel 2.4 km breiten, eine Fläche von 26.7 km² bedeckenden nach Osten fliessenden

Talgletscher. Der komplexe Eisstrom wird vor allem von drei Firngebieten gespeist: von NW fliesst der Lauteraargletscher, von SW der kleinere Strahlegg- und der Finsteraargletscher aus dem gewaltigen Kar mit der über 1000 m steil emporragenden Finsteraarhorn-Nordwestwand. Die Eisströme vereinigen sich beim Abschwung, einem östlichen Ausläufer der Lauteraarhörner, zum heute knapp 6 km langen, von mächtigem Moränenschutt bedeckten Unteraargletscher.

Bei der Rekonstruktion der frühen (holozänen) Geschichte des Unteraargletschers mit Hilfe fossiler Baumreste konnten in der Zeit von 9850 cal. yBP bis 1200 cal. yBP zwölf Schwundphasen unterschiedlicher Dauer (100 bis 900 Jahre) nachgewiesen werden. In die letzten 3500 Jahre fallen vier solche Abschnitte geringerer Eisausdehnung, nämlich: 4300 bis 3400 cal. yBP; 2800 bis 2700 cal. yBP; 2150 bis 1850 cal. yBP und 1400 bis 1200 cal. yBP (cal. yBP = kalibrierte Radiokarbonjahre vor «heute», d. h. vor 1950; Joerin et al. 2006).

Gletscher- und Forschungsgeschichte des 16. bis 19. Jahrhunderts

Erstmals erwähnt werden das Gebiet der «Arolae fons verus», der «wahren Aarequelle», und das Eis des Unteraargletschers in der «Chorographia Bernensis» um 1577, die der Berner Stadtarzt Thomas Schoepf zu seiner hervorragenden Karte des Kantons Bern geschaffen hat (Zumbühl und Holzhauser 1988). Die erste Grundriss- und Ansichtsskizze der Stirnpartie des Unteraargletschers entstand sehr viel später bei einem Besuch des Luzerner Stadtarztes Moritz Anton Cappeler vermutlich zwischen 1719 und 1729. Dieses Dokument zusammen mit einem in Briefform gehaltenen Text wurde allerdings erst in Johann Georg Altmanns «Versuch einer Historischen und Physischen Beschreibung der Helvetischen Eisbergen» 1751 publiziert.

Caspar Wolf, auf dessen herausragende Bedeutung für die Schweizer Alpenmalerei bereits hingewiesen wurde, besuchte zwischen 1774 bis 1777 auch den Unteraargletscher, wobei drei Ölskizzen und drei Ölgemälde im Gebiet des Abschwungs entstanden, die nicht nur zu den ersten genauen, sondern auch zu den künstlerisch bedeutendsten Ansichten gehören, die je von diesem Gletscher geschaffen worden sind. Auf zwei seiner Reisen begleitete ihn auch Jakob Samuel Wyttenbach, Pfarrer an der Heiliggeistkirche und nach Albrecht von Haller der grösste Naturforscher Berns in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts. Dieser Umstand wirkte sich unmittelbar auf die Bildinhalte von Wolf aus. Während Wolf zeichnete, machte Wyttenbach topographische, geomorphologische und meteorologische Beobachtungen und liess sich von der Erhabenheit der Landschaft auf der Mittelmoräne des Unteraargletschers beim Abschwung faszinieren (Wyttenbach 5.8.1777, vgl. auch Abb. 12): «Dieser Standpunkt ist einer der wildesten und ausserordentlichsten, den man sich nur denken kann. (...) Die hier ungemein reine Luft, der helle Himmel, der Anblick der mich allerorten umgebenden ungeheuren Felsspitzen, die unermesslichen von denselben hinabsteigenden Schnee- und



Abbildung 12: Jacques Bourckhardt, 1842. «Panorama de la mer de glace du Lauteraar et du Finsteraar – Hotel des Neuchâtelois» von der Mieselenegg. Bleistift, Feder, Wasserfarbe, Gouache, 24.4 x 126.0 cm. (Originalzeichnung zur Lithographie). Privatbesitz. (Foto: H. J. Zumbühl)

Eismassen, die fast unabsehbaren Gletscherebenen, welche hier gleichsam unter meinen Füssen zusammenstiessen – alles brachte eine ganz ungewohnte Stimmung meiner Seele hervor, die mir ungemein angenehm war.»

Die ersten genauen Veränderungen der vorstossenden Gletscherzunge hat der Solothurner Gymnasiallehrer und Naturhistoriker Franz Josef Hugi jeweils bei seinen Sommerreisen zum Unteraargletscher in den Jahren 1827 bis 1831 gemessen. Nach diesen Pionierbeobachtungen führte der Neuenburger Professor für Paläontologie und Zoologie und spätere Glaziologe Louis Agassiz (1807–1873), ganz im Sinne moderner interdisziplinärer Wissenschaft, mit einem Team von Mitarbeitern jeweils im Sommer von 1839 bis 1845 auf dem Unteraargletscher ein Forschungsprogramm durch, das den Anfang der modernen experimentellen Gletscherforschung markiert. Agassiz wollte dabei nicht nur systematisch Wissen über Gletscher aufbauen, sondern auch seine «Eiszeithypothese» bestätigen, nach der die ganze nördliche Hemisphäre vom Nordpol zum Mittelmeer einmal unter einem gigantischen Gletscher gelegen haben müsse. Diese Eiszeithypothese wurde abgelehnt, unter anderem weil damit das christliche wie wissenschaftliche Weltbild der Zeit überstrapaziert wurde: Im Gegensatz zu katastrophalen Fluten sind riesige Gletscher in der Bibel nicht erwähnt, und Kenntnis von vergleichbar grossen Gletschern existierte damals noch kaum (Bolles 2000). Nach den Angaben von Agassiz schuf der Vermessungsingenieur J. Wild im Sommer 1842 die «Carte du glacier inférieur de l’Aar» im Massstab 1:10000. Agassiz publizierte 1847 diese für die damalige Zeit einzigartige, auch heute noch bewunderungswürdige erste wissenschaftliche Gletscherkarte in grossem Massstab im Atlasband zu seinen «Nouvelles études et expériences sur les glaciers actuels» (Agassiz 1847). Auf der zweifarbigen Lithographie, auch aus ästhetischer Sicht ein Meisterwerk, ist die damals mehr als acht Kilometer lange Zunge des



Unteraargletschers östlich des Abschwunges mit einer einmaligen Fülle von Eisoberflächenphänomenen durch ein System von Böschungsschraffen dargestellt. Während der Feldkampagne 1842 zeichnete Jacques Bourckhardt (1811–1867) auch ein ausserordentlich genaues Panorama des Gletschers und der umgebenden Gipfel von der Miselenegg, wohl das schönste das je von diesem Eisstrom geschaffen wurde (Abb. 12). Hier blicken wir auch auf den Abschwung hinunter – im Bereich des Hôtel des Neuchâtelois – wo J. S. Wytttenbach 65 Jahre (1777 siehe oben) früher bereits Gletscherbeobachtungen gemacht hat und sich von der Schönheit der Landschaft überwältigen liess.

Der Unteraargletscher im 20. Jahrhundert

Der Unteraargletscher diente aber auch im 20. Jahrhundert als Werkstatt für entscheidende Forschungsunternehmen. In den Jahren 1936–1950 erfolgten mehrere seismische Feldkampagnen und seit 1969 werden systematische Bewegungsmessungen mit einer automatischen Kamera durchgeführt (Flotron 1973). Dabei wurde während der Schneeschmelze neben dem typischen Geschwindigkeitsmaximum eine Aufwärtsbewegung bis zu 0.6 m beobachtet (Iken et al. 1983). Aus jüngster Zeit stammen sehr interessante Massenbilanzbestimmungen mit Fernerkundungsmethoden und Fließmodellierungen (Bauder 2001), d. h., der Unteraargletscher bleibt ein Brennpunkt der Glaziologie der Schweiz.

Eine Zusammenfassung der Gletschergeschichte der 300 letzten Jahre ist relativ einfach: von 1720 bis 1871 stiess die Eiszunge beinahe kontinuierlich vor, und seither (maximale Länge 14.49 km) ist die Zunge bis heute um 2.011 km zurückgeschmolzen (Daten von Wipf 1999: 132/133; Zumbühl und Holzhauser 1988; Steiner et al. 2007).

War die Zunge des Unteraargletschers in den 1980/90er Jahren vor allem durch das Projekt Stausee-Grimsel-West, das einen Aufstau des Grimselsees bis auf die Höhenkote 2020 m vorsah, stark gefährdet, so liegt die heutige Bedrohung beim Treibhaus-Temperaturanstieg,

der auch hier die Eismassen einem dramatischen nicht zu übersehenden Abschmelzprozess aussetzt.

Ausblick

Bisher haben wir uns mit den letzten 3500 Jahren, vor allem aber mit dem Höhepunkt der Kleinen Eiszeit, befasst, als die Gletscher ihre faszinierende Eispracht nicht zuletzt auch im Talboden entfalten konnten, d. h., es war ein schöner Blick zurück in die Vergangenheit.

Die Zukunft der Alpengletscher angesichts des offensichtlichen Klimawandels sieht nun allerdings sehr viel weniger erfreulich aus. Waren 1850 noch ca. 4.4 % der Alpenfläche vergletschert, so waren es 2000 nur noch ca. 2.5 %. Allein im Jahr 2003 betrug der Volumenverlust der Alpengletscher wegen des Hitzesommers ca. 5–10 % des Gletschervolumens von 2002 (ProClim 2005). Insgesamt beträgt heute die vergletscherte Fläche der Alpen nur noch ca. 50 % von 1850. Die vertikale Ausdünnung der Gletscher ist so stark geworden, dass sich die Gletscherlänge oft nicht mehr dem horizontalen Eisnachschub anpassen kann; dem Einsinken folgt letztlich ein «Kollaps» der Gletscherzungen. Dramatisch zu sehen ist dies beim Unteren Grindelwaldgletscher unterhalb der Bäregg oder beim Unteraargletscher an der Zungenfront, wo ein Oberflächenbach den Eistrom in zwei Teile aufzulösen droht.

Ein sehr realistischer Anstieg der Sommertemperatur um 3°C bis Ende des 21. Jahrhunderts – die Szenarien bewegen sich zwischen ca. + 1°C bis + 5°C – würde die alpine Eisbedeckung (Referenzperiode 1971–1990) um ca. 80 % reduzieren, oder auf ca. 10 % der Gletscherausdehnung um 1850 (Zemp 2006). Zwar wird der Grosse Aletschgletscher als grösster Eisstrom der Alpen bis gegen Ende des 21. Jahrhunderts kaum ganz verschwinden, bei sehr vielen kleineren Gletschern muss sehr wohl mit dieser Möglichkeit gerechnet werden. Somit ist auch das Herzstück des UNESCO Welterbes gefährdet und droht buchstäblich als Wasser wegzufliessen.

■ Ausgewählte weiterführende Literatur

- Aellen, M., Röthlisberger, H. 1981: Gletschermessungen auf Jungfraujoeh. In: 50 Jahre Hochalpine Forschungsstation Jungfraujoeh. Kantonalbank von Bern, Bulletin Nr. 23: 82–92. Bern.
- 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. Premier 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.
- Bauder, A. 2001: Bestimmung der Massenbilanz von Gletschern mit Fernerkundungsmethoden und Fliessmodellierungen. Eine Sensitivitätsstudie auf dem Unteraargletscher. Mitteilungen der VAW ETH Zürich Nr. 169, 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.

- Desor, E., Vogt, C. (Hrsg.), Agassiz, L., Studer, B. 1847: Agassiz' und seiner Freunde geologische Alpenreisen in der Schweiz, Savoyen und Piemont. 2. stark vermehrte Aufl. Frankfurt a. M.
- Escher von der Linth, H. C. 1791–1813: Fragmente über die Naturgeschichte Helvetiens die Gebirgskunde betreffend. Heft 1,3,6,7, und 8. ETHZ, Hs 704:1 Bde. 1,2,3.
- Flotron, A. 1973: Photogrammetrische Messung von Gletscherbewegungen mit automatischer Kamera. Vermessung, Photogrammetrie und Kulturtechnik, Jg. 71, H.1-73: 15–17.
- Guntern, J. 1979: Volkserzählungen aus dem Oberwallis. Schriften der Schweizerischen Gesellschaft für Volkskunde, Bd. 62. Unveränderter Nachdruck der 1. Auflage von 1978. Basel.
- Holzhauser, H. 1984: Zur Geschichte der Aletsch- und des Fieschergletschers. Physische Geographie, Vol. 13. Zürich.
- Holzhauser, H. 1995: Gletscherschwankungen innerhalb der letzten 3200 Jahre am Beispiel des Grossen Aletsch- und des Gornergletschers. Neue Ergebnisse. In: Gletscher im ständigen Wandel. Publikationen der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW/ASSN), 6: 101–122. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- Holzhauser, H. 2002: Dendrochronologische Auswertung fossiler Hölzer zur Rekonstruktion der nach-eiszeitlichen Gletschergeschichte. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 153 (1): 17–27.
- Holzhauser, H., Magny, M., Zumbühl, H. J. 2005: Glacier and lake-level variations in west-central Europe over the last 3500 years. *The Holocene*, 15 (6): 789-801.
- Holzhauser, H., Zumbühl, H. J. 1996: To the history of the Lower Grindelwald Glacier during the last 2800 years – palaeosols, fossil wood and historical pictorial records – new results. *Zeitschrift für Geomorphologie Neue Folge, Suppl.* 104: 95–127.
- Holzhauser, H., Zumbühl, H. J. 2003: Nacheiszeitliche Gletscherschwankungen. Hydrologischer Atlas der Schweiz, Sonderdruck zum 54. Deutschen Geographentag Bern. Neudruck des Blattes 3.8 des Hydrologischen Atlas der Schweiz.
- Iken, A., Röthlisberger, H., Flotron, A., Haeberli, W. 1983: The uplift of the Unteraargletscher at the beginning of the melt season – a consequence of water storage at the bed? *Journal of Glaciology*, 29 (101): 28-47.
- Joerin, U. E., Stocker, T. F., Schlüchter, C. 2006: Multicentury glacier fluctuations in the Swiss Alps during the Holocene. *The Holocene* 16 (5): 697–704.
- Lütschg, O. 1915: Der Märjelensee und seine Abflussverhältnisse. Eine hydrologische Studie unter Mitberücksichtigung hydrographischer Erscheinungen in anderen Flussgebieten. *Annalen der Schweizerischen Landeshydrographie*, Bd. 1, Zürich.
- Messerli, B., Zumbühl, H. J., Ammann, K., Kienholz, H., Pfister, C., Oeschger, H., Zurbuchen, M. 1976: Die Schwankungen des Unteren Grindelwaldgletschers seit dem Mittelalter. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 11 (1): 3–110.
- Müller, F., Caflisch, T., Müller, G. 1976: Firn und Eis der Schweizer Alpen, Gletscherinventar. ETH Zürich, Publ. Nr. 57 und 57a.
- Paul, F. 2003: The new Swiss glacier inventory 2000 – Application of remote sensing and GIS. Dissertation am Geographischen Institut der Universität Zürich.
- ProClim 2005: Hitzesommer 2005: Synthesebericht. Basierend auf den Referaten und Beiträgen zum Forum Hitzesommer 2003 vom 7. Juli 2005. Hrsg. ProClim – Forum for Climate and Global Change.
- Steiner, D. 2005: Glacier variations in the Bernese Alps (Switzerland) – Reconstructions and Simulations. Dissertation am Geographisches Institut der Universität Bern.
- Steiner, D., Zumbühl, H. J., Bauder, A. 2007: Two Alpine glaciers over the last two centuries: a scientific view based on pictorial sources. In: Orlove, B., Wiegandt, E., Luckman, B. (Eds.), *The darkening peaks: glacial retreat in scientific and social context*. University of California Press, Berkeley, CA.
- VAW/SANW 1881-2002: Die Gletscher der Schweizer Alpen. *Jahrbücher der Glaziologischen Kommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW)*. Versuchsanstalt für Wasser-

- bau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich, Zürich, No. 1–122. (<http://glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers/>).
- Wipf, A. 1999: Die Gletscher der Berner, Waadtländer und nördlichen Walliser Alpen. Dissertation am Geographischen Institut der Universität Zürich.
- Wytenbach, J. S. 1777: Manuskripte naturwissenschaftlichen Inhalts. Burgerbibliothek Bern: Mss.h.h.XX9 (vgl. Lit.verz in Zumbühl und Holzhauser 1988).
- Zemp, M. 2006: Glaciers and climate change. Spatio-temporal analysis of glacier fluctuations in the European Alps after 1850. Schriftenreihe Physische Geographie Glaziologie und Geomorphodynamik 49. Geographisches Institut der Universität Zürich.
- Zumbühl, H. J. 1980: Die Schwankungen der Grindelwaldgletscher in den historischen Bild- und Schriftquellen des 12.–19. Jahrhunderts. Ein Beitrag zur Gletschergeschichte und Erforschung des Alpenraumes. Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Bd. 92. Basel, Boston, Stuttgart.
- 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., Holzhauser, H. 1988: Alpengletscher in der Kleinen Eiszeit. Sonderheft zum 125jährigen Jubiläum des SAC. Die Alpen, 64. Jg., 3. Quartal: 129–322. Bern.
- Zumbühl, H. J., Messerli, B., Pfister, C. 1983: Die Kleine Eiszeit: Gletschergeschichte im Spiegel der Kunst. Katalog zur Sonderausstellung des Schweizerischen Alpenen Museums Bern und des Gletschergarten-Museums Luzern vom 9.6.-14.8.1983 (Luzern), 24.8.–16.10.1983 (Bern).

Dank

Wir danken Dr. H. P. Gsell und S. U. Nussbaumer herzlich für die kritische Durchsicht.

Adresse der Autoren

Prof. Dr. Heinz J. Zumbühl, Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern, zumbuehl@giub.unibe.ch

Dr. Hanspeter Holzhauser, Ahornstrasse 38, CH-8051 Zürich, h.holzhauser@bluewin.ch