

Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern

Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft in Bern

Band: 59 (2002)

Artikel: Die Gletscher der Aare : Natur- und Kulturerbe

Autor: Wipf, Andreas / Trbolet, Gustav

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-323616>

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: 31.01.2026

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

ANDREAS WIPF¹ & GUSTAV TRBOLET²

Die Gletscher der Aare – Natur- und Kulturerbe

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	122
2. Geografische Übersicht	123
3. Frühe Begegnungen mit den Aaregletschern	124
3.1 Pioniere der Kartografie	124
3.2 Forscher-Künstler	124
3.3 Beginn der Gletscherforschung	125
4. Intensivierung der Gletscherforschung auf dem Unteraargletscher	129
5. Gletscherschwankungen am Unter- und Oberaargletscher	132
5.1 Unteraargletscher	132
5.2 Oberaargletscher	134
6. Aktuelle Forschung am Unteraargletscher	136
6.1 Einleitung	136
6.2 Ergebnisse der Untersuchungen am Unteraargletscher	136
6.2.1 Gletschermächtigkeit	136
6.2.2 Vertikale Eisdeformation: Stauchung (Senkung) und Dehnung (Hebung)	137
6.2.3 Minisurges	139
6.2.4 Geschwindigkeiten an der Gletscheroberfläche	140
6.2.5 Vergleich Modell–Messungen	140
6.2.6 Ausblick: Aktuelle Fragen für die zukünftige Forschung am Unteraargletscher	142
7. Botanische Aspekte im Umfeld der beiden Aaregletscher	142
8. Fazit: Wie Wahrnehmung und Bedeutung der Landschaft sich wandeln	144
Literatur	146

¹ Andreas Wipf, Institut für Kartographie, ETH Hönggerberg, CH-8093 Zürich,
wipf@karto.baug.ethz.ch

² Gustav Trbolet, Melchtalstrasse 19, CH-3014 Bern, trbolet@sis.unibe.ch

1. Einleitung

Die Gletscher der Aare nehmen im Alpenraum eine besondere Stellung ein, denn sie stehen seit Jahrhunderten im Interesse von Reisenden, Forschenden und Künstlern.

Bereits aus dem Mittelalter ist bekannt, dass die Alpen rund um das Sidelhorn von der Walliser Seite her mit Vieh bestossen wurden. Da die Grimsel einen wichtigen Übergang vom Kanton Bern ins Wallis darstellt, kamen Händler und Reisende schon früh in die Nähe der Aaregletscher. Der älteste bisher bekannte Hinweis auf die beiden Aaregletscher stammt aus dem 16. Jahrhundert. In den folgenden Jahrhunderten verdichteten sich die Gletschedokumente, und erste wissenschaftliche Untersuchungen setzten ein. Die Aaregletscher und insbesondere der Unteraargletscher werden zu Recht als Wiege der Gletscherforschung und der Entwicklung der Eiszeittheorie bezeichnet. Die wissenschaftlichen Untersuchungen haben sich bis in die heutige Zeit fortgesetzt, spielt doch der Unteraargletscher für die Erforschung von Fliessphänomenen eine wichtige Rolle.

Standen früher vor allem die Neugier und der Wissensdurst im Vordergrund, so stieg in neuerer Zeit auch das wirtschaftliche Interesse an diesen Gletschern. In den 1930er sowie 1950er Jahren setzte im Grimselgebiet mit dem Bau der Staumauern durch die Kraftwerke Oberhasli AG eine neue Ära der Wasserkraftnutzung ein. Durch die Überstauung der Vorfelder des Unter- und Oberaargletschers wurden urtümliche Landschaftsteile und frühere Zeugen der Gletscheraktivität zerstört.

Auch heute wirken die verschiedensten Interessen auf diesen sensiblen Hochgebirgsraum ein. Dass es bei den vielfältigen Ansprüchen auf diese Landschaft zu Konflikten kommt, ist unumgänglich. Heute stehen sich insbesondere wirtschaftliche Interessen (Erhöhung der Grimselstaumauer) und Naturschutzanliegen (Umsetzung des gesetzlich verankerten Moorschutzes, Aufnahme ins UNESCO-Welterbe) gegenüber und sorgen dafür, dass das Grimselgebiet immer wieder in den Schlagzeilen steht. Mit den Aktionen «L'art pour l'Aar» und «Gletscherblick 99» – unterstützt durch den Grimselverein – wurden in den vergangenen Jahren Anstrengungen unternommen, aktuelle Konflikte in dieser imposanten Natur- und Kulturlandschaft auf eine neue Art zu thematisieren.

Um die historischen und aktuellen Aspekte aus dem Blickwinkel von Kunst und Wissenschaft einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich zu machen, organisierte die Naturforschende Gesellschaft Bern in Zusammenarbeit mit der Volkshochschule im November und Dezember 1999 eine Vortragsreihe unter dem Titel «Die Gletscher der Aare – Natur- und Kulturerbe». Referenten aus verschiedenen Fachgebieten stellten dabei ihre aktuellen Forschungsergebnisse dar oder gaben einen Überblick über die laufenden Aktivitäten in diesem Gebiet:

- PD Dr. H.J. Zumbühl: Geschichte der Gletscherforschung
- Dr. G.H. Gudmundsson: Aktuelle Forschungen auf den Aaregletschern

- Dr. K. Ammann: Forschungen im Umfeld der Aaregletscher
- A. Urweider: Die Aaregletscher in der Kunst – vom Kupferstich zur Combox
- Dr. H. Holzhauser: Nacheiszeitliche Gletscher- und Klimaschwankungen im Alpenraum

Die folgenden Ausführungen basieren auf diesen Vorträgen und wurden z.T. mit Recherchen durch die Autoren ergänzt.

Die Autoren danken der Naturforschenden Gesellschaft Bern, der Volkshochschule Bern und dem Grimselverein für die Zusammenarbeit und die Unterstützung sowie den Referenten für die fachliche Begleitung.

2. Geografische Übersicht

Die Grimselregion stellt eine glazial geprägte Hochgebirgslandschaft dar (Abb. 1). Insbesondere die Aaregletscher – gemeint sind die Einzugsgebiete des Unter- und Oberaargletschers – haben ihre Spuren hinterlassen. Die beiden Eiskörper liegen auf der Westseite des Grimselpasses und bedecken die Ostabdachung der Berner Alpen.

Der Oberaargletscher hat sein Einzugsgebiet im Talkessel zwischen den Gipfeln Scheuchzer-, Gruner-, Oberaar- und Oberaarrothorn. Der nach ENE verlaufende und sehr flache Gletscher gehört mit seinen rund $5,8 \text{ km}^2$ Eisfläche zu den klei-



Abbildung 1: Übersichtsbild über die Grimselregion mit Finsteraarhorn, Unteraar-, Oberaar-, Grimsel- und Räterichsboden-Stausee. Aufnahme: A. WIPF 2000.

neren Talgletschern. Das Zungenende befindet sich nur unweit des Oberaarstausees. Sein grosser «Bruder», der Unteraargletscher, stellt mit seinen 29,5 km² den viertgrössten Gletscher der Schweizer Alpen dar (Flächenwerte für das Jahr 1973, WIPF 1999). Die nur wenig geneigte Zunge des Unteraargletschers wird von zwei Hauptakkumulationsgebieten gespiesen: Zwischen Lauteraarhorn und dem höchsten Gipfel der Berner Alpen, dem Finsteraarhorn, liegt das Nährgebiet des Finsteraargletschers. Dieser vereint sich beim Abschwung mit dem von Nordwesten zufließenden Lauteraargletscher. Unterhalb des Zusammenflusses kann man sehr schön ausgebildete Mittelmoränen beobachten. Durch die Erosion der im Einzugsgebiet steil aufragenden Felswände transportiert der Gletscher eine grosse Schuttmenge, die sich am Zungenende in einer geschlossenen Obermoräne äussert. Vor der Gletscherzunge ist eine abwechlungsreiche Sanderlandschaft entstanden.

3. Frühe Begegnungen mit den Aaregletschern

Mit Ausnahme der einheimischen Bevölkerung aus dem Haslital und dem Goms, die auf der Jagd, beim Hirten oder beim Strahlern die Gletscher aus nächster Nähe zu Gesicht bekamen, stiessen bis weit in die Neuzeit nur vereinzelt Fremde bis zu den Aaregletschern vor. Bekannt ist, dass die Oberaaralp seit dem 16. Jahrhundert mit Tieren aus dem fernen Törbel bestossen wurde (GLETSCHERBLICK 1999: 40). Händler, Krieger und Reisende wollten den Grimselpass möglichst rasch überschreiten, bevor ein Wetterumsturz oder gar noch Unheimlicheres zur Umkehr zwang, und beachteten die Aaregletscher oft gar nicht.

3.1 Pioniere der Kartografie

Auf der Karte des bernischen Staatsgebietes von 1577/78 vom Berner Stadtarzt Thomas Schöpf (?–1577) und auf der Schweizer Karte von Johann Jakob Scheuchzer (1672–1733) werden die Aaregletscher als «Arolae fons versus» respektive «Fons Arolae versus», also als die wahre Aarequelle, bezeichnet. Schöpf hat den Gletscher auf seiner Karte grafisch nicht festgehalten. Hingegen ist auf der Scheuchzer-Karte, gedruckt um 1705, der Unteraargletscher durch einen Haufen kugeliger Gebilde markiert, allerdings kartografisch am falschen Ort (ZUMBÜHL & HOLZHAUSER 1988: 268). Samuel Bodmer (1652–1724) hat fast zur selben Zeit wie Scheuchzer das Unter- und Oberaargebiet mit den Angaben «wiss arr» und «schwarzen aar oder finster aar» in sein Marchbuch Nr. 2 aufgenommen, jedoch ohne einen Hinweis auf Gletschereis.

3.2 Forscher-Künstler

Ein einzigartiges Bild alpiner Kunst stellt der Kupferstich von Anton Cappeler (1685–1769) dar. Der Luzerner Arzt war gar nicht wegen der Gletscher in den

Bergen unterwegs, sondern weil er eine Kristallgrotte abzeichnen wollte. Von der Faszination des Gletschers getrieben, schuf Cappeler dieses bildliche Dokument unter dem Titel «Von den Gletschern auf dem Grimselberg, und deren allorten sich befindenden Crystall = Gruben» (ZUMBÜHL & HOLZHAUSER 1988: 270).

Eine im Vergleich zum Kupferstich von Cappeler weit realistischere Darstellung der Frontpartie des Unteraargletschers zeichnete Samuel H. Grimm (1733–1794) um 1760. Noch naturgetreuer ist der Stich (1770) von Jean J.F. le Barbier (1738–1826). Interessant und beachtenswert dabei ist, dass auf diesen beiden Abbildungen neben dem Landschaftsmotiv auch der Akt des Skizzierens dargestellt wird. Caspar Wolf hat einige Jahre später diese «Staffage-Technik» meisterhaft umgesetzt (URWEIDER 1999: 4).

3.3 Beginn der Gletscherforschung

Ein wahrer Glücksfall in der Geschichte der künstlerischen Darstellung der Aaregletscher ist Caspar Wolf (1735–1783), der bedeutendste und einfallsreichste Alpenmaler des 18. Jahrhunderts. In den Jahren 1774–1777 besuchte Wolf mehrmals den Unteraargletscher. Da aber keine Ansicht vom Zungenende existiert, sind die Gletscherschwankungen des Unteraargletschers in den 1770er Jahren bislang nicht befriedigend rekonstruierbar (ZUMBÜHL & HOLZHAUSER 1988: 272). Wolf hat den Lauteraar- und den Finsteraargletscher mit topografischer Genauigkeit festgehalten, ergänzend dazu die Landschaft aufschlussreich komponiert und Staffagefiguren eingesetzt.

Beachtenswert sind die Ölskizze und die Farbaquatinta mit dem Motiv eines Gletschertisches (ZUMBÜHL & HOLZHAUSER 1988: 276, 277; Abb. 2 und 3). Die Gegenüberstellung deckt eine Gefahr bei der Interpretation von historischen Bildquellen auf, da die Staffagefiguren auf der Aquatinta stark verkleinert dargestellt sind und so der Gletschertisch zu gross erscheint.

Die Kunst war schon damals auch kommerziell und auf Wirkung bedacht. Wolf malte im Auftrag des Verlegers Abraham Wagner und war oft zusammen mit dem



Abbildung 2: Der grosse Steintisch auf dem Lauteraargletscher von Caspar Wolf (1774/1776?). Öl und Bleistift. Aargauer Kunstmuseum, Aarau.

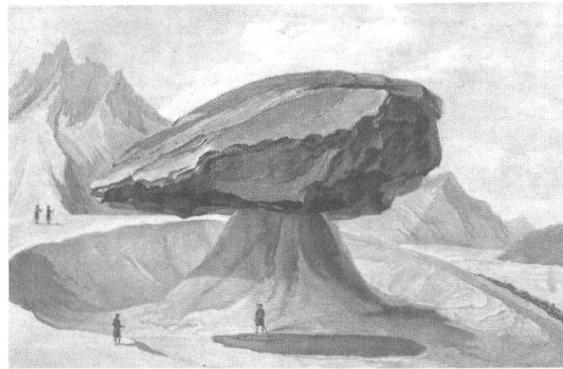


Abbildung 3: «La grosse pierre sur le Glacier de Vorderaar, Canton de Berne, Province d'Obervaz.» Farbaquatinta von Caspar Wolf (1774/1776?). Aufnahme: H.J. Zumbühl.

Berner Naturforscher Jakob Samuel Wyttensbach (1748–1830) in den Alpen unterwegs. Etliche Bildmotive wurden in Grafikmappen durch Wagner veröffentlicht, welche unter dem Titel «Vues remarquables des montagnes de la Suisse» ab 1780 in verschiedenen Grossstädten Europas erschienen, wo inzwischen die exotische Alpenwelt auf ein namhaftes Interesse stiess.

Mehr als 30 Jahre später malte Gabriel M. Lory Sohn (1784–1846) einen eindrucksvollen Gletschertisch auf dem Unteraargletscher, vermutlich ohne den Gletscher betreten zu haben (URWEIDER 1999: 7). Erst aus dem Jahre 1794 ist erneut eine Abbildung der Gletscherzunge dokumentiert. 20 Jahre nach Wolf erscheint die Arbeit von Hans C. Escher von der Linth (1767–1823) unbeholfen und steif. Escher war vor allem Ingenieur und Wissenschaftler, aber kein professioneller Maler. Die offensichtlich sehr eindrückliche Eiswand bestätigt jedoch den Vorstoß des Gletschers (ZUMBÜHL & HOLZHAUSER 1988: 272). Eschers Sidelhornpanorama «Circularaussicht von der Kuppe des Sidelhorns» stellt – so vermutet URWEIDER (1999: 6) – die erste Gesamtübersicht des Unteraargletschers dar, wobei die Gletscherzunge nicht abgebildet ist und die höheren Partien des Finsteraar- und Lauteraargletschers verdeckt sind.

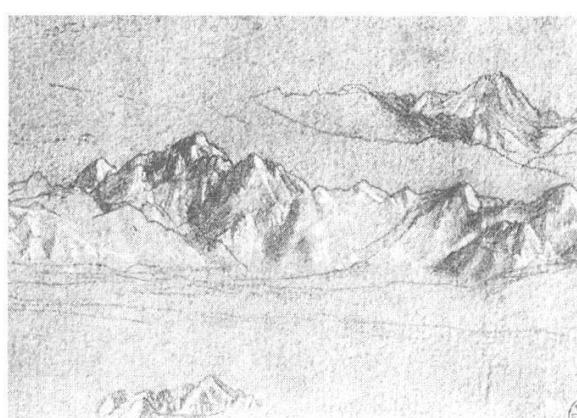
Wahrnehmung und Ausdruck im Wandel der Zeit

«Nur» Lebensraum

Die Landschaft wurde bis ins Mittelalter nicht bewertet oder beurteilt, sondern sie war nichts als selbstverständlich vorhandener Lebensraum. Die Landschaft und die Berge wurden einzig symbolhaft im Hintergrund dargestellt. Das menschliche und göttliche Handeln stand als zentrales Thema im Vordergrund (URWEIDER, 1999: 2).

Die Berglandschaft als Bühne der menschlichen Tätigkeit

Um 1500 wurde in der Kunst (Renaissance) die totale Vergeistigung überwunden. Doch wurden die Berge fantastisch überhöht und die Landschaft noch immer unrealistisch abgebildet, ja erfunden, und als dramatische Bühne der menschlichen Tätigkeiten dargestellt.



Die Forscher-Künstler

Künstler und Forscher in einer Person forschten nach Gesetzen und Energien und stellten diese bildlich dar. Als frühe «Forscher-Künstler» bezeichnet URWEIDER (1999: 2) Leonardo Da Vinci (1452–1519) und Albrecht Dürer (1471–1528). Erst 200 Jahre später waren an den Aaregletschern «Alpenforscher-Künstler» unterwegs.

Leonardo Da Vinci, Hochgebirgsstudie (in: CHRISTOFFEL 1963)

Idealisierte und dramatisierte Landschaft

Zu Beginn des 18. Jahrhunderts zog sich die Gesellschaft in die Städte und Paläste zurück. Es fand eine Entfremdung des Menschen von der Natur statt. In Pärken wurde die Natur zur Kunst geformt, und die Maler schilderten die Landschaft als wohlgestalteten Garten. Die Alpenwelt wird zu jener Zeit idealisiert, wie z.B. im Gedicht «Die Alpen» von Albrecht von Haller (1708–1777).

In diesem Dasein von Illusion und schönem Schein wurden die Veröffentlichungen von Jean Jacques Rousseau (1712–1778) wie ein Schreckruf wahrgenommen. Im Roman «Emile» (1762) stellte er die Forderung nach einer Verbundenheit des Menschen mit der Natur auf. Erneut tritt ein Wandel in der Darstellung der Alpenwelt ein. In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts werden die Alpentäler oft als scheußliche Gräben, bedrohliche Schlünde mit schrecklichen Naturereignissen zum pittoresken Gefahrenraum dramatisiert.

Die Alpenmaler

In der zweiten Hälfte des 18. und im 19. Jahrhundert erlebte die Alpenmalerei eine Blütezeit. Für die alpine Gletschergeschichte sind die Bildstudien von Caspar Wolf (1735–1783) und Samuel Birmann (1793–1847) von ganz besonderer Bedeutung. Sie haben die Berg- und Gletscherwelt, dank ihrer scharfen Beobachtungsgabe und einer intensiven Auseinandersetzung mit dem Landschaftsraum, akribisch und realitätsnah festgehalten.

Bergfotografie

Ab 1850 dokumentieren Bergfotografen wie D. Dolfuss-Ausset, F. Martens, A. Braun und J. Beck die alpine Naturlandschaft. Später wird mittels Fotomontage gar die Zukunft konstruiert.

Staumauerbau als Kunstereignis

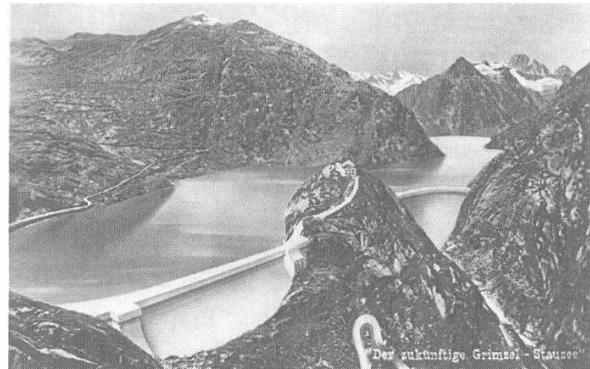
In den frühen 1950er Jahren wurden die drei Berner Künstler Eugen Jordi, Rudolf Mumprecht und Emil Zbinden durch die Kraftwerke Oberhasli AG beauftragt, den Staumauerbau an der Oberaar künstlerisch zu begleiten. Die entstandenen Kunstwerke dokumentieren mit den pionierhaften Bauarbeiten im Hochgebirge auch den damaligen Zeitgeist (Technik- und Fortschrittsglaube).

Künstler als Akteur in der Landschaft

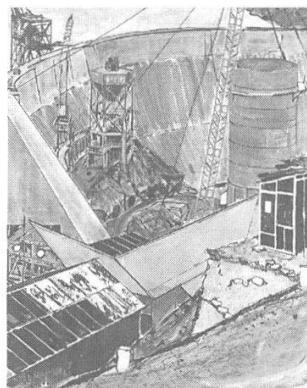
Die bildende Kunst zog es ab 1960 vermehrt aus den geschützten Museums- und Galerieräumen hinaus auf öffentliche Plätze, Parkanlagen und Fussgängerzonen. Die Vertreterinnen und Vertreter der Earth-art und der Land-art beanspruchten für ihre Objekte unkultivierte Gebiete ausserhalb des urbanen Siedlungsraumes. Das künstlerische Werk wird Teil der Landschaft und durch die Umwelteinflüsse verändert und später zerstört. Die Landschaft selbst wird zum eigentlichen Kunstraum. Anstelle des Abbildes der Natur ist der direkte Eingriff in die Landschaft, die Intervention, getreten (URWEIDER, 1999: 10).

Kunst als Protest

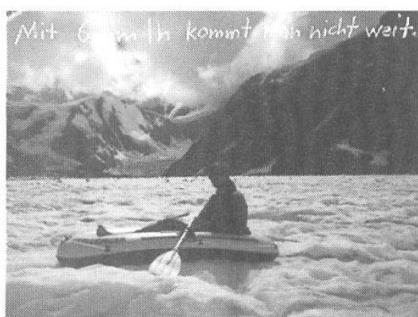
Ein neuer Kunstschub um die Aaregletscher begann Anfang der 1990er Jahre. Am fraglosen und rücksichtslosen Nutzen der Natur im Geiste des sogenannten Fortschritts waren Zweifel entstanden.



(Archiv KWO)



Eugen Jordi
(in: Du 1954)



Nick Roelli (in: GLETSCHERBLICK 1999)

Als die Kraftwerke Oberhasli AG 1989 den gigantischen Ausbau Grimsel-West präsentierte, regte sich Widerstand. Aus den Reihen des opponierenden Grimselvereins formierte sich die Künstler/innengruppe «*L'art pour l'Aar*», die sich zum Ziel setzte, gegen die drohende Zerstörung dieser einzigartigen und geschichtsträchtigen Landschaft zu protestieren.

Die bedrohte Gletscherlandschaft der Aare sollte mittels der Kunst in weiten Kreisen bekannt gemacht werden. Der Künstler ist vom reinen Schaffer zum Aktivisten geworden und nähert sich in der Konzeptkunst oft wieder der Wissenschaft. Ihren Höhepunkt fand die Alpen-Kunstaktion an der Grimsel mit dem Happening «*Gletscherblick 99*» (URWEIDER, 1999: 10).

Im August 1824 skizzierte Samuel Birmann (1793–1847) den Unteraargletscher vom Sidelhorn aus (Abb. 4). Birmann war ein berggewandter Künstler und stieg oft höher als andere Kunstschauffende, so durchquerte er zum Beispiel am Wildstrubel die damals noch weglose, felsige Fluhseewand (TRIBOLET 1998: 64). Auf der lavierten Federskizze «Panorama des Sidelhorns» ist die Schliffgrenze deutlich zu sehen. Am Zungenende lässt sich anhand der Mittelmoränen erkennen, dass der Unteraargletscher eindeutig von zwei Haupteinzugsgebieten (Finsteraar- und Lauteraargletscher) gespiesen wird, deren Eismassen nach dem Zusammenfluss nebeneinander fliessen und in zwei Gletschertoren enden (URWEIDER 1999: 6). Birmann verstand durch seine genaue Beobachtungsgabe dieses Phänomen sehr deutlich darzustellen. Eine Fotografie aus dem Jahr 1986 mit etwa der gleichen Perspektive verdeutlicht die Exaktheit, mit der Birmann die Landschaft festgehalten hat (Abb. 5). Ein Vergleich der beiden Abbildungen streicht den starken Schwund des Gletschers in den dazwischenliegenden 162 Jahren heraus: Der helle Bereich auf der rechten Seite der Zunge verdeutlicht den massiven Mächtigkeitsverlust.

Ein Novum in der Gletscherforschung wird von Joseph Bettanier visualisiert: die Schutzhütte von Hugi. Diese erste Forscherstation auf dem Unteraargletscher leitet den Höhepunkt der modernen Gletscherforschung im 19. Jahrhundert ein.



Abbildung 4: Sidelhornpanorama (Ausschnitt) von S. BIRMANN (1824) mit der sehr präzis gezeichneten Gletscherzunge. Öffentliche Kunstsammlung Basel, Kupferstichkabinett.

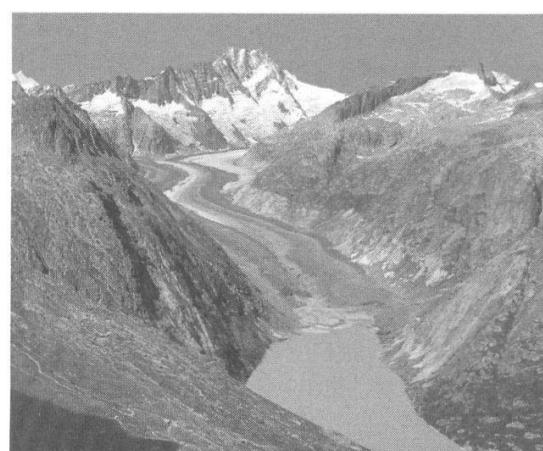


Abbildung 5: Die Zunge des Unteraargletschers mit dem Grimselstausee im Jahr 1986. Aufnahme: K. AMMANN.

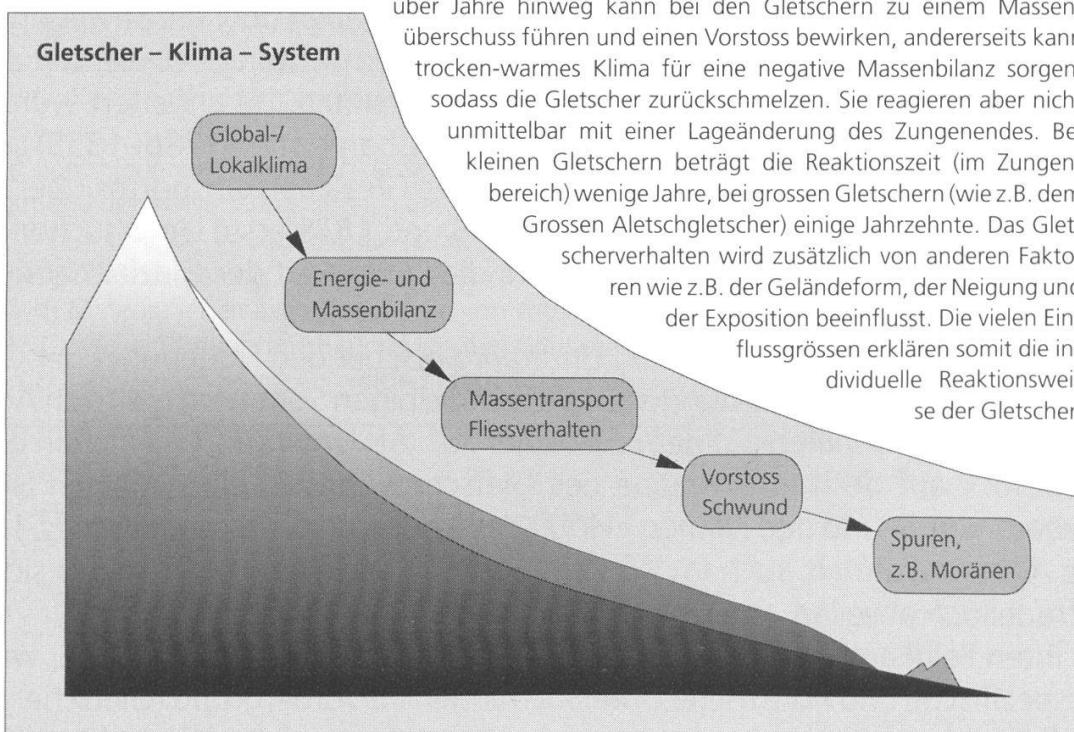
4. Intensivierung der Gletscherforschung auf dem Unteraargletscher

Den Anstoss zu vertieften Forschungen zum Thema Gletscher lieferte die 3. Jahressversammlung der Allgemeinen schweizerischen Gesellschaft für die gesamten Naturwissenschaften im Jahre 1817. Es wurde festgestellt, dass «schon öfter ... von den Gelehrten und Ungelehrten die Behauptung aufgestellt und nachgesprochen werde, dass das Klima der höheren Gegenden unseres Vaterlandes seit einer langen Reihe von Jahren allmählig rauher und kälter geworden sey». (NATURWISSENSCHAFTLICHER ANZEIGER 1818). Diese Aussage stützte sich bis anhin auf folgende Beobachtungen ab: «... erstens, Zeugnisse, dass verschiedene Plätze der Alpen ehmal zur Viehweide benutzt worden seyen, die jetzt für diesen Zweck untauglich sind; zweitens, historische Zeugnisse und Spuren von ehemaligen Waldungen in solchen Höhen, welche über die Gränze der gegenwärtigen Baumvegetation sich befinden; drittens, fortschreitendes Niedersteigen oder Senkung der Schneegrenze; viertens, zunehmendes Vorrücken der Gletscher in verschiedenen Gegenen der Schweiz.»

Gletscher - Klima

Durch die Intensivierung der Gletscherforschung stieg das Prozessverständnis, und der Zusammenhang zwischen Gletscher und Klima wurde erkannt: Gletscher können als Klimazeiger angesehen werden, denn sie reagieren, wenn auch verzögert und über einen längeren Zeitraum integriert, auf Änderungen des Klimas. Die Schnittstelle bildet dabei die Massen- und Energiebilanz des Gletschers.

Kühl-feuchte Witterung über Jahre hinweg kann bei den Gletschern zu einem Massenüberschuss führen und einen Vorstoss bewirken, andererseits kann trocken-warmes Klima für eine negative Massenbilanz sorgen, sodass die Gletscher zurückschmelzen. Sie reagieren aber nicht unmittelbar mit einer Lageänderung des Zungenendes. Bei kleinen Gletschern beträgt die Reaktionszeit (im Zungenbereich) wenige Jahre, bei grossen Gletschern (wie z.B. dem Grossen Aletschgletscher) einige Jahrzehnte. Das Gletscherverhalten wird zusätzlich von anderen Faktoren wie z.B. der Geländeform, der Neigung und der Exposition beeinflusst. Die vielen Einflussgrössen erklären somit die individuelle Reaktionsweise der Gletscher.



(Nach PATZELT & AELLEN 1990, HAEBERLI 1991)

Die Wichtigkeit dieses Gegenstandes, «... auf das für unser Vaterland so bedeutende Gewerb der Viehzucht, ...», veranlasste die Gesellschaft, folgende Preisfrage auszuschreiben:

«Ist es wahr, dass unsere höheren Alpen seit einer Reihe von Jahren verwil dern?»

Der erste Preis war mit 600 sFr. dotiert, der zweite Preis mit 300 sFr. und sollten im Jahre 1820 den Gewinnern übergeben werden.

Es wurden zwei Arbeiten eingereicht, wovon eine den Ansprüchen nicht genügte. Die zweite Arbeit von Charles Kasthofer, Forstinspektor von Unterseen, konnte nicht alle Fragen zur vollen Zufriedenheit lösen, wurde aber immerhin mit 300 sFr. prämiert. So wurde die Frage nochmals wie folgt ausgeschrieben:

«Rassembler des faits exacts et bien observés sur l'acroissement et la diminution des glaciers dans les diverses parties des Alpes, sur la détérioration ou l'amélioration de leurs paturages, sur l'état antérieur et actuel des forêts.»

Daraufhin wurde eine einzige Arbeit abgeliefert und auch gleich ausgezeichnet: Ignaz Venetz (1788–1859), Kantonsingenieur in Sitten, führte an, dass Längenänderungen der Gletscher die beste Möglichkeit darstellen, um Schwankungen der Temperatur nachzuweisen (VENETZ 1833). Er verweist u.a. auf Moränenwälle und Erratiker im Mittelland, deren Ablagerung sich analog zu den gegenwärtigen Vorgängen an der Gletscherzunge abgespielt haben dürfte und die eine ehemals kühlere Periode bezeugen. Diese Feststellung löste in Fachkreisen eine Kontroverse aus, wurde doch bisher die These vertreten, dass die ortsfremden Felsblöcke durch das Wasser transportiert worden seien.

In den Jahren 1827 bis 1831 suchte Franz Joseph Hugi (1793–1855) jeden Sommer den Unteraargletscher auf, um erstmals Angaben über die Bewegungen des Gletschers an seiner Front zu machen. Als Übernachtungsort dienten zwei Granitblöcke auf der Mittelmoräne, die zu einer Schutzhütte erweitert wurden.

Nachdem I. Venetz und vor allem auch Jean de Charpentier (1786–1855) Louis Agassiz (1807–1873) von der neuen Theorie des Gletschertransports überzeugen konnten, führte dieser in den Jahren 1838 und 1839 erste Untersuchungen an Gletschern und deren Spuren durch, um die Richtigkeit der Glazialtheorie zu erhärten.

Die Jahre 1840–1845 bildeten am Unteraargletscher den Höhepunkt der Gletscherforschung des 19. Jahrhunderts. Während einigen Sommern hielt sich Agassiz mit mehreren Gehilfen auf dem Gletscher auf. Als Unterkunft diente ein grosser Felsblock auf der Mittelmoräne des Gletschers, der zu einer kleinen Hütte ausgebaut wurde und den Namen «Hôtel des Neuchâtelois» trug. Im März 1841 weilte Agassiz erstmals auch im Winter auf dem Gletscher. Dabei liess er sich in ein Strudelloch abseilen, um den inneren Aufbau zu studieren.

Bei ihren Feldkampagnen standen glaziologische, geomorphologische, witterungsspezifische und floristische Untersuchungen im Vordergrund (Gletscherprofil/Spaltenbildung, Bewegungsmessungen, Vegetation auf dem Gletscher, Mächtigkeitsabschätzungen u.a.). Durch die Ingenieure J. Wild und später J.R. Stengel

entstand die erste wissenschaftliche Gletscherkarte im Massstab 1:10 000. Das von L. Agassiz 1847 publizierte Werk «Système glaciaire ou recherches sur les glaciers, ...» dokumentiert den Beginn der modernen experimentellen Gletscherforschung (AGASSIZ 1847).

Die damaligen Forscher begnügten sich aber nicht nur mit wissenschaftlichen Untersuchungen, sondern sie richteten sich für die längeren Aufenthalte auch bequem ein. So sorgte im Jahre 1842 ein Ball auf dem Gletscher für Abwechslung. Unter einem Zeltdach spielten Musikanten und luden mit ihren Stücken zum Tanz auf der Gletscherbühne ein.

Methoden der Gletschergeschichte

Gletschergeschichtliche Untersuchungen verfolgen das Ziel, die Schwankungen der Gletscher in den vergangenen Jahrtausenden zu rekonstruieren. Dazu stehen verschiedene Methoden zur Verfügung (ZUMBÜHL & HOLZHAUSER 1988):

Glaziologische Methode

Geodätische Methode: Messung von Längen-, Flächen- und Volumenänderungen (Karten- und Luftbildauswertung, Feldaufnahmen). Bestimmung der Massenbilanz.

Hydrologisch-meteorologische Methode: Messung des Gebietsniederschlages, der Gebietsverdunstung, des Abflusses usw. Bestimmung der Massenbilanz.

Historische Methode

Auswertung von kartographischen Zeugnissen, Reliefs, Bild- und Schriftquellen, Fotografien.

Geländearchäologie

Auswerten von Relikten der menschlichen Aktivität, die mit Gletscherschwankungen in Zusammenhang stehen.

Glazialmorphologische Methode

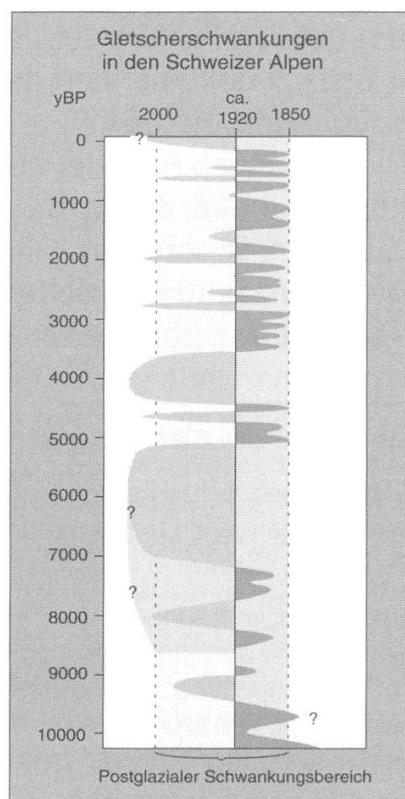
Kartierung des Gletschervorfeldes mit Moränenwällen, ¹⁴C-Datierung von fossilen Böden, ¹⁴C-Datierung und dendrochronologische Auswertung von fossilen Hölzern.

Die verschiedenen Methoden lassen sich aber nur für bestimmte Zeiträume anwenden. Während der Anwendungsbereich der glaziologischen Methode auf die letzten rund 150 Jahre beschränkt bleibt, ermöglicht die historische und die geländearchäologische Methode Gletscherausdehnungen bis ins Mittelalter zurückzuverfolgen. Mit der ¹⁴C-Datierung von organischem Material (ehemalige Böden, die von einer Moräne überschüttet worden sind; ehemals vom Gletscher überfahrene Bäume) können Gletscherschwankungen, die Tausende von Jahren zurückliegen, nachgewiesen werden (glazialmorphologische Methode).

Postglaziale Gletschergeschichte

Nach dem heutigen Stand der Forschung haben sich die Gletscher in den letzten 10 000 Jahren (Nacheiszeit, Postglazial) etwa in einer Bandbreite zwischen der heutigen und der Ausdehnung von 1850 (Hochstand) bewegt. Dabei wurden diese Ausmasse z.T. noch leicht unter- bzw. überschritten.

Durch einen Vergleich der damaligen Ausdehnungen der Gletscher mit den heutigen Verhältnissen (bez. Ausdehnung, Klima) können Rückschlüsse auf das vergangene Klima abgeleitet werden.



(Vereinfacht nach MAISCH ET AL. 1999)

5. Gletscherschwankungen am Unter- und Oberaargletscher

Im Vergleich mit anderen grösseren Alpengletschern (beide Grindelwaldgletscher, Rhone-, Gorner- und Aletschgletscher u.a.) ist der Wissensstand über die nacheiszeitlichen Gletscherschwankungen der beiden Aaregletscher nicht so detailliert. Dies mag damit zusammenhängen, dass die beiden Gletschervorfelder grösstenteils eingestaut und somit die Zeugen der früheren Gletschertätigkeit zerstört worden sind.

5.1 Unteraargletscher

Beim Unteraargletscher konnten diverse fossile Hölzer und Böden geborgen und ^{14}C -datiert werden (ZUMBÜHL & HOLZHAUSER 1988). Diese ermöglichen einzelne Schwankungen des Gletschers bis zu Beginn der Zeitrechnung zurückzuverfolgen.

Ein erster Vorstoß des Gletschers konnte um etwa 950/1050 n.Chr. durch die Datierung eines fossilen Bodens nachgewiesen werden (Abb. 6). Davor scheint der Gletscher während längerer Zeit (mind. 1000 Jahre) wesentlich kleiner gewesen zu sein (nie grösser als eine Ausdehnung wie um 1900). Nach diesem Vorstoß wich er auf eine Ausdehnung kleiner als in den 1980er Jahren zurück, bevor er an

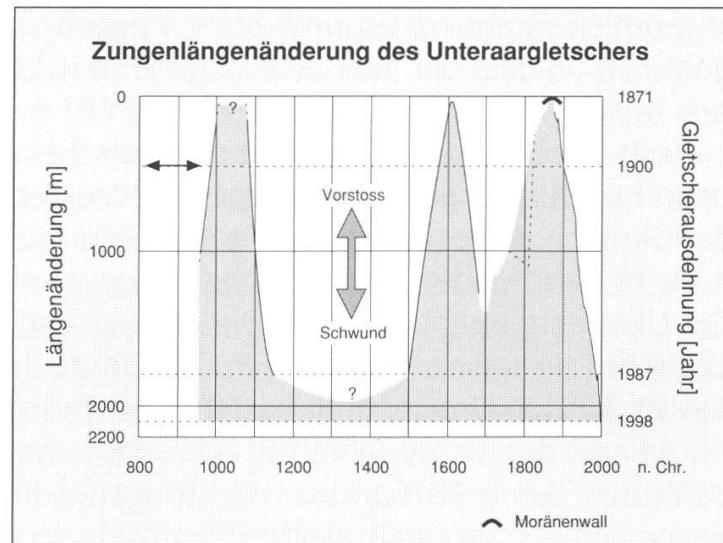


Abbildung 6: Die Schwankungen des Unteraargletschers in den letzten 1200 Jahren (Daten aus ZUMBÜHL & HOLZHAUSER 1988, DIE ALPEN, WIPF 1999).

der Wende 16./17. Jahrhundert seine Zunge bis auf eine Dimension wie um 1890 vorschob.

Einen ersten auswertbaren bildlichen Nachweis vom Unteraargletscher liefert Moritz A. Cappeler. Zwischen 1719 und 1729 hielt er sich im Grimselgebiet auf und zeichnete eine Skizze, die eine etwa 1150 m hinter dem letzten Hochstand von 1871 liegende Gletscherausdehnung festhält. Etwa 30 Jahre später fertigte Samuel H. Grimm eine Radierung des Gletscherendes an. Aus den Äusserungen

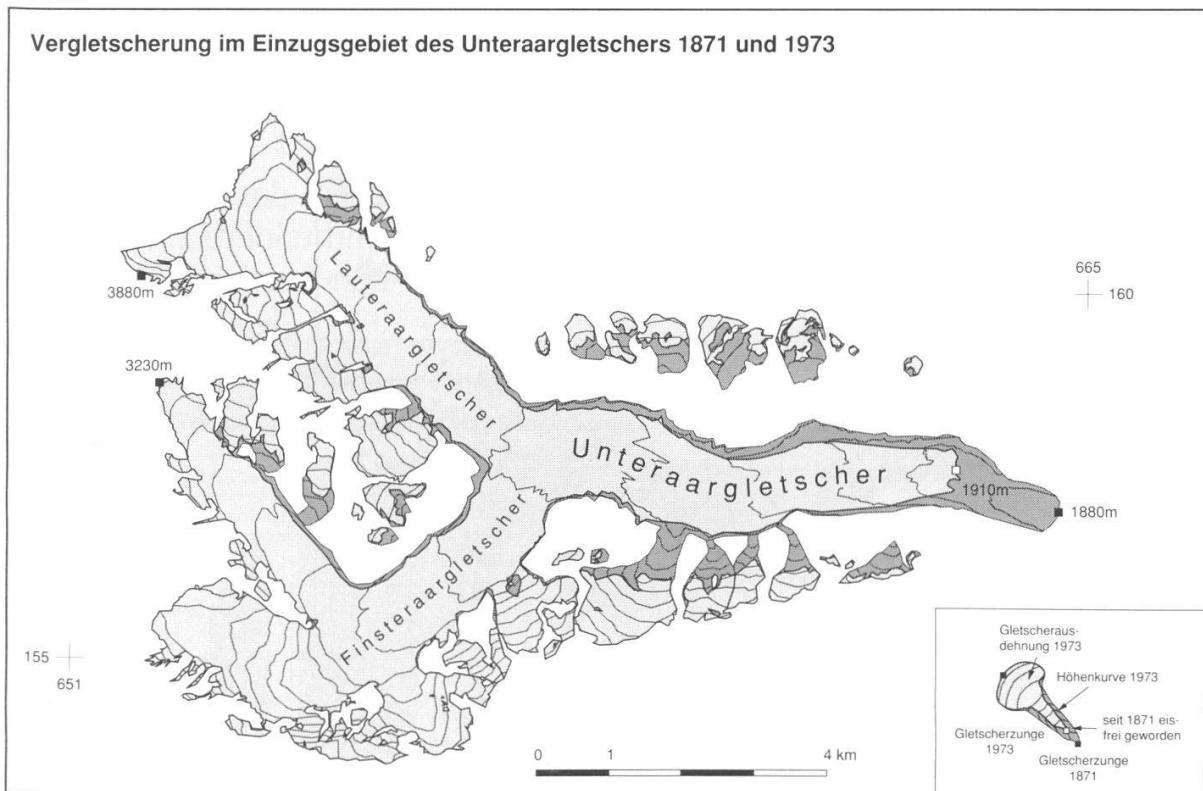


Abbildung 7: Der Unteraargletscher während seines letzten Hochstandes von 1871 und im Jahr 1973 (Rekonstruktion A. WIPF).

in Gottlieb Sigmund Gruners Buch «Eisgebirge des Schweizerlandes» (1760) geht hervor, dass der Gletscher gegenüber Cappeler rund 150 m vorgestossen sein muss.

Nach Jakob S. Wyttensbach war der Gletscher in den 1780er Jahren im Vorstoss begriffen und rückte bis in vegetationsbedecktes Gelände vor. Dies bedeutet, dass der Gletscher davor während längerer Zeit diese Marke nicht mehr erreicht hat.

Im 19. Jahrhundert mehren sich Quellen, die Aufschluss über die Ausdehnung des Unteraargletschers geben. Die Auswertung dieser Hinweise ergibt, dass der Gletscher sukzessive bis zu seinem letzten Hochstand im Jahre 1871 angewachsen ist. Einzige Unsicherheit besteht im schwer zu interpretierenden Relief von J.E. Müller, der für die Jahre 1810/12 eine sehr geringe Ausdehnung festhält.

Ab dem Jahre 1876 wurde das Zungenende des Unteraargletschers jährlich vermessen. Ausser einem kleinen Vorstoss in den Jahren 1885 und 1886 sowie um 1912 ist der Gletscher ständig zurückgeschmolzen. Von den 14,5 km Länge um 1871 hat der Gletscher bis heute 2,1 km eingebüsst, was einem relativen Schwund von etwa 14% gleichkommt. Im Zeitraum von 1871 bis 1973 sind von seinen 33,4 km² rund 3,9 km² Eis oder knapp 12% abgeschmolzen (WIPF 1999, Abb. 7).

5.2 Oberaargletscher

Beim Oberaargletscher können die Schwankungen nur bis ins 18. Jahrhundert relativ detailliert zurückverfolgt werden (AMMANN 1977, Abb. 8). Aus der Zeit davor konnten mit der ¹⁴C-Datierung zweier fossiler Böden (6300 ± 100 yBP und 5100 ± 90 yBP) immerhin Vorstösse bis zu einer hochstandsähnlichen Ausdehnung belegt werden.

Die historischen Bild- und Schriftquellen haben ergeben, dass der Gletscher gegen Ende des 18. Jahrhunderts bzw. Anfang des 19. Jahrhunderts eine geringe Ausdehnung aufwies (etwa wie um 1900). Gemäss den Beschreibungen von

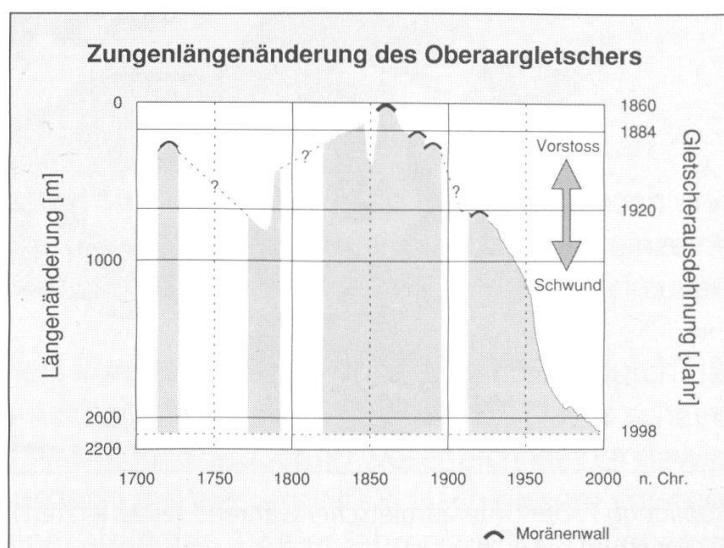


Abbildung 8: Die Schwankungen des Oberaargletschers in den letzten 300 Jahren (Daten aus AMMANN 1977, DIE ALPEN, WIPF 1999).

F.J. Hugi war der Gletscher in den Jahren vor 1830 im Vorstossen begriffen und hat ältere, bereits vegetationsbedeckte Wälle überfahren. Auch eine Zeichnung von J.R. Bühlmann aus dem Jahre 1835 und eine aquarellierte Tuschskizze von G. Studer aus dem Jahre 1838 halten einen hohen Gletscherstand fest. Gemäss einer Beschreibung von E. Désor soll der Gletscher im Jahre 1841 alte Böden überdeckt haben, was bedeutet, dass er während einigen Jahrhunderten diese Ausdehnung nicht mehr erreicht hatte. Weitere Bilddokumente (Bleistift-Feder-Skizze von A. Escher, 1842, und ein Aquarell von H. Hogard, 1848) lassen ein fortschreitendes Anwachsen des Gletschers erkennen. Kurz darauf setzte eine kurze Rückschmelzphase ein (bis etwa Anfang der 1850er Jahre). Nach einem weiteren Vorstossen erreichte der Oberaargletscher um 1860 seinen letzten Hochstand (Bleistiftskizze von O. Frölicher, 1859). Danach schmolz der Gletscher in rund 20 Jahren um 200 m zurück, bevor er dann Mitte der 1880er Jahre leicht vorstiess und einen (zwei?) Moränenwall ausbildete. Ab dem Ende der 1880er Jahre scheint der Gletscher bis in die Mitte der 1910er Jahre weiter zurückgewichen zu sein (um rund 600 m seit 1860), bis er um 1920 etwas vorrückte und einen Wall aufschob.

Seit 1926 gibt die regelmässige Vermessung des Zungenendes Auskunft über das Verhalten des Gletschers. Neben nur geringfügigen Vorstossbeträgen gegen Ende der 1970er und zu Beginn der 1980er Jahre ist der Gletscher wie andere Alpengletscher markant zurückgeschmolzen. Der Längenverlust seit dem letzten Hochstand von 1860 bis ins Jahr 1999 beträgt rund 2,1 km. Abbildung 8 zeigt eine Übersicht über die Schwankungen des Oberaargletschers seit 1700. Bei seinem letzten Hochstand hat der Gletscher eine Fläche von rund 8,5 km² bedeckt. Bis ins Jahr 1973 sind davon etwa 1,9 km² abgeschmolzen, was einen relativen Schwund von 28% bedeutet (WIPF 1999, Abb. 9).

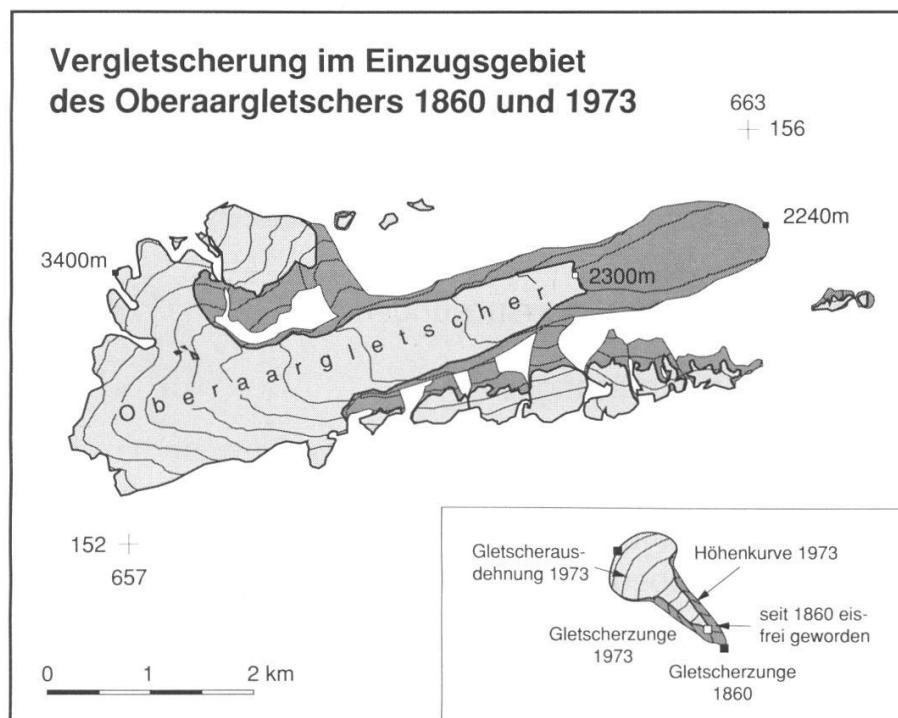


Abbildung 9: Der Oberaargletscher während seines letzten Hochstandes von 1860 und im Jahr 1973 (Rekonstruktion A. WIPF).

6. Aktuelle Forschung am Unteraargletscher

6.1 Einleitung

Auf den ersten Blick forscht die «UAAR Research Group» der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich wie einst Louis Agassiz:

1. Einsatz modernster Methoden
2. temporäre Forschungsstation im Gelände (Abb. 10)
3. interdisziplinäre Teamarbeit
4. Zusammenarbeit mit der Talbevölkerung

Im Rahmen des UAAR-Projektes wird Grundlagenforschung betrieben. Eines der Ziele besteht darin, ein Modell über das Fliessverhalten von temperierten Gletschern am Computer zu entwickeln und am Gletscher zu überprüfen. Zum Test der Modellberechnungen werden am Finsteraar-, Lauteraar- und Unteraargletscher Feldmessungen durchgeführt.

Die Konfluenzsituation zweier ähnlich grosser Gletscher führt zu einer tiefgründigen Umgestaltung des Gletschereises und zu sehr hohen Deformationsraten in allen drei räumlichen Richtungen, was für die Erforschung der Bewegung des Gletschereises äusserst aufschlussreich ist.



Abbildung 10: Moderne Forschungsstation im Gelände: Zelt auf dem Unteraargletscher. Aufnahme: G.H. GUDMUNDSSON 1997.

6.2 Ergebnisse der Untersuchungen am Unteraargletscher

6.2.1 Gletschermächtigkeit

Mittels Radarsondierungen wurde das Gletscherbett ausgelotet. Die grössten Gletschermächtigkeiten von über 400 m findet man am Lauteraar- und Finsteraargletscher oberhalb ihres Zusammenflusses (Abb. 11). Wie seismische Messungen und auch Videobeobachtungen in Bohrlöchern gezeigt haben, liegt der Gletscher unterhalb der Vereinigungsstelle einem Sedimentbett auf. Die Mächtigkeit der Sedimente nimmt gletscheraufwärts stetig ab, bis der Gletscher oberhalb des Zusammenflusses schliesslich in direktem Kontakt zum Felsbett steht.

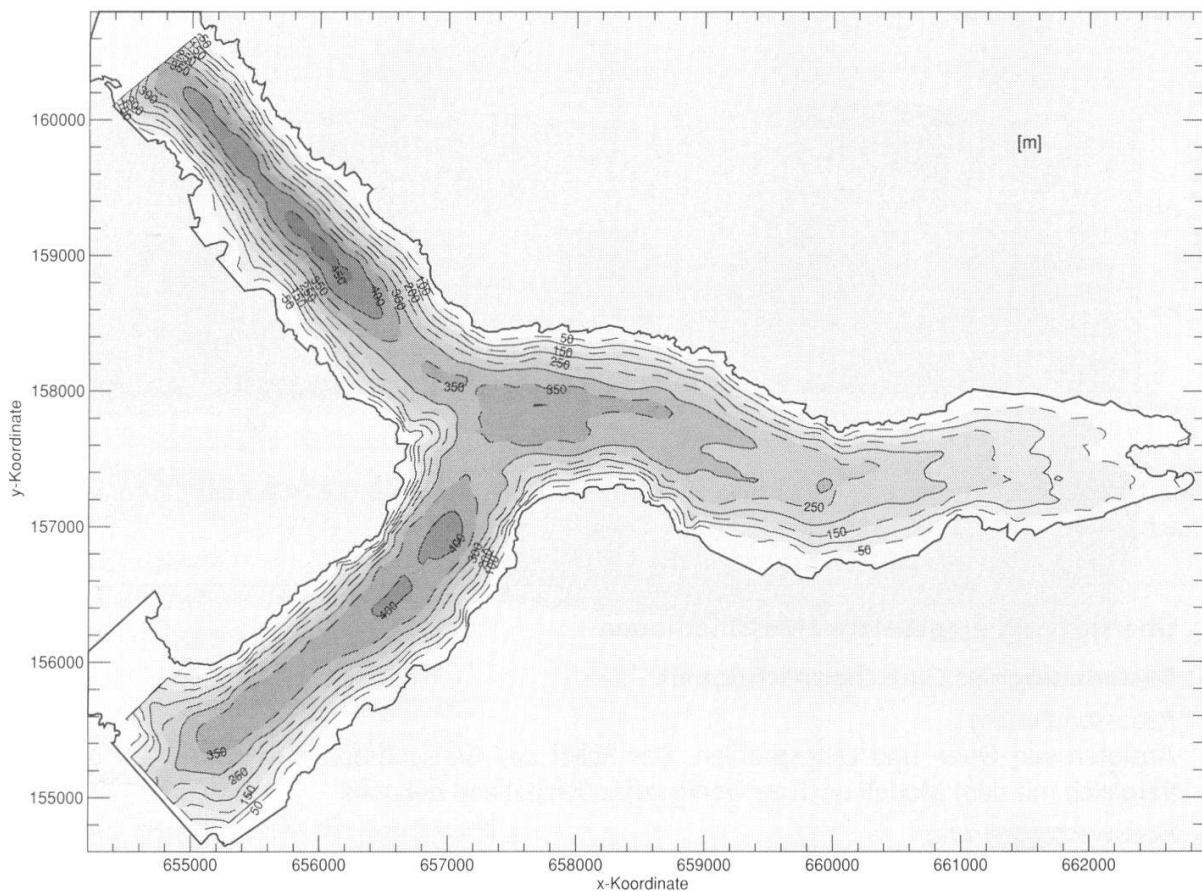


Abbildung 11: Mächtigkeit des Unteraargletschers (nach BAUDER 2001: 73).

6.2.2 Vertikale Eisdeformation: Stauchung (Senkung) und Dehnung (Hebung)

Unterhalb des Zusammenflusses dehnt sich das Eis über die gesamte Tiefe in vertikaler Richtung aus. Wie die Messungen vom April 1997 zeigen, nimmt die Dehnungsrate in der Tiefe zu (BAUDER 2001, Abb. 12). Abbildung 13 zeigt die modellierten Bewegungsverhältnisse an derselben Stelle (dick gestrichelte Linie: Bohrlochstelle der Messungen von Abb. 12). Beim Zusammenfluss haben die

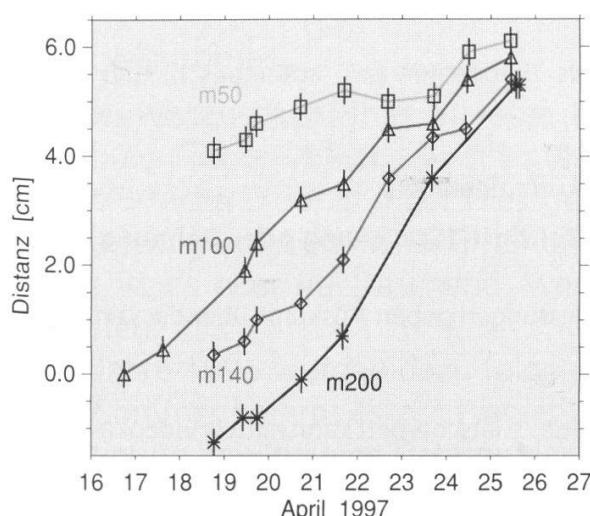


Abbildung 12: Magnetringmessungen im Bohrloch zur Bestimmung der vertikalen Bewegung über die Tiefe (BAUDER 2001: 117).

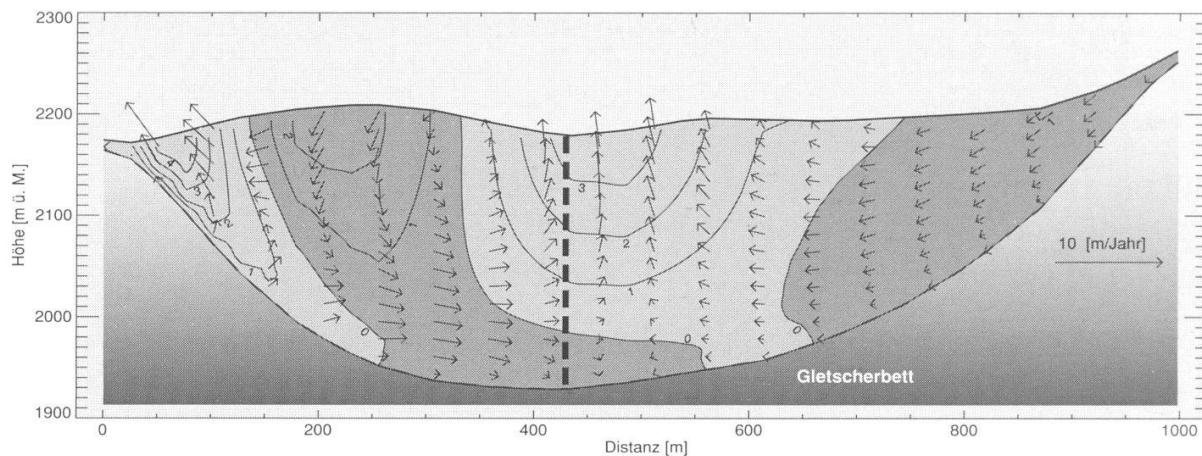


Abbildung 13: Modellierte Bewegungsverhältnisse im Querprofil auf der Höhe der Lauteraarhütte (nach BAUDER 2001: 119).

Übersicht der eingesetzten Messmethoden

Bestimmung der Gletschermächtigkeit

Radarsondierung

Ausloten von Quer- und Längsprofilen. Das Relief des Gletscherbettes ist zurzeit für einen Vergleich mit dem Modell noch zu wenig zufriedenstellend bekannt.

Heisswasserbohrung

Die Distanz Gletscherbett–Gletscheroberfläche wird direkt gemessen (punktuell). Zusätzlich dient das Bohrloch für weitere Messungen (siehe «Bestimmung der vertikalen Deformation»).

Seismik

Die Ausbreitungswellen von durch Sprengung erzeugten Beben werden mittels Geophonen gemessen und dienen zur Überprüfung der beiden anderen Methoden.

Bestimmung der Gletscheroberfläche

Fotogrammetrie

Fotogrammetrische Auswertung von Bildpaaren (Boden- und Luftaufnahmen).

Laser Scanner

Exaktes, aktuelles Bestimmen der Gletscheroberfläche (Distanzmessung aus dem Flugzeug oder Heli).

Bestimmung der Oberflächengeschwindigkeit

Vermessung/GPS

Periodisches Einmessen von Messpunkten mittels Theodoliten (z.T. automatisch) und GPS (Global Positioning System).

Fotogrammetrie

Fotogrammetrische Auswertung von Bildpaaren (Luftaufnahmen).

Bestimmung der vertikalen Deformation im Bohrloch (Stauchung oder Dehnung)

Magnetringmessung

Einmessen von Magnetringen im Bohrloch. Die Messungen geben Auskunft über die vertikale Bewegung in der Tiefe.

Visualisierung

Die Eisstruktur im Bohrloch (z.B. Hohlräume) sowie das Gletscherbett kann mittels Videokamera erkundet werden.

Bewegungsdynamik bei Gletschern

Die Vorwärtsbewegung des Gletschereises an der Oberfläche ist im Allgemeinen auf zwei unterschiedliche Prozesse zurückzuführen: Interne Verformung (Eisdeformation) und basales Gleiten.

Interne Verformung

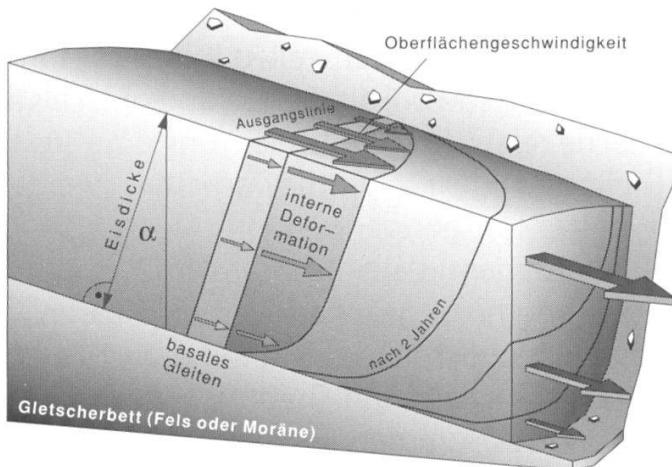
Diese wird im Wesentlichen von den physikalischen Eigenschaften des Eises (Temperaturverhältnisse u.a.), der Gletschermächtigkeit und der Neigung der Oberfläche bestimmt.

Basales Gleiten

Die Gleitgeschwindigkeit an der Basis des Gletschers ist von verschiedenen Faktoren und Prozessen abhängig, u.a. von den Eigenschaften des Gletscherbettes und vom basalen Wasserdruck.

Daraus resultiert, dass die Geschwindigkeit

- bei grosser Neigung gross ist
- bei grosser Eismächtigkeit gross ist
- in der Gletschermitte am schnellsten ist
- an der Gletscheroberfläche im Allgemeinen schneller ist als am Gletscherbett



(nach MAISCH ET AL. 1999, verändert)

Messungen ergeben, dass in den oberen zwei Dritteln Dehnung (Extension) auftritt, anschliessend eine Übergangszone ohne vertikale Deformation folgt und im untersten Drittel Stauchung (Kompression) auftritt. Anders verhält es sich unter der Mittelmoräne. Das Gewicht der Mittelmoräne verursacht eine Zone mit vertikaler Stauchung, die sich über die ganze Gletschertiefe erstreckt (GUDMUNDSSON 1994).

6.2.3 Minisurges

Grosses wissenschaftliches Interesse und Erstaunen weckten die 1971 vom Ingenieurbüro Flotron AG auf dem Unteraargletscher nachgewiesenen Minisurges (2- bis 5-fache Erhöhung der Fliessgeschwindigkeiten über einen Zeitraum von 2–3 Tagen, gefolgt von einer Erhöhung der Gletscheroberfläche von 10–30 cm). Heute ist es eher überraschend, wenn bei einem Gletscher keine Minisurges auftreten.

Im Jahre 1996 wurden dazu folgende Thesen aufgestellt:

- Im Sommer kommt es zur Wasserspeicherung in Hohlräumen. Diese Wassersättigung bewirkt eine Hebung der Gletscheroberfläche und leitet einen Minisurge ein.

- Die unterschiedlichen Geschwindigkeiten des Gletschers führen zu Stellen mit Hebung (vertikale Dehnung) und anderen mit Senkung (vertikale Stauchung). Diese beiden Thesen galt es zu überprüfen. Zur Bestimmung der Hebung und Senkung wurden in einem Bohrloch mehrere Magnete gleichzeitig in unterschiedlichen Tiefen eingemessen (siehe Beispiel Abb. 12). Das UAAR-Team konnte so im Frühling 1996 an drei Stellen Minisurges messen (HOELZLE ET AL. 1998).

Im Winter ist sowohl die Geschwindigkeit als auch die Hebung an der Gletscheroberfläche relativ konstant. Dies führte zur Vermutung, dass der Anteil des basalen Gleitens an der Gesamtbewegung im Vergleich zur internen Deformation des Eises im Winter sehr gering ist.

Die Messergebnisse am Unteraargletscher haben gezeigt, dass beide Thesen zur Erklärung herangezogen werden müssen.

Weitere Beobachtungen während der Messungen:

- Im Frühjahr (März/April) hebt sich die Eisoberfläche um rund 60 cm und bleibt während des Sommers in etwa auf diesem Niveau. Allerdings treten zusätzliche Erhebungen von bis zu 20 cm auf.
- Während an einer Stelle eine vertikale Dehnung auftritt, findet gleichzeitig an einer anderen Stelle eine vertikale Stauchung statt.
- Bevor ein Minisurge die grösste Geschwindigkeit erreicht, tritt eine horizontale Stauchung auf, die eine Hebung bewirkt. Nach einer gewissen Zeit tritt plötzlich eine Umkehr ein.

6.2.4 Geschwindigkeiten an der Gletscheroberfläche

Die mittleren Jahresgeschwindigkeiten sind auf den ersten zwei Kilometern gletscheraufwärts vom Zungenende recht klein (Toteis, Abb. 14). Dann nehmen die Geschwindigkeiten rasch zu und betragen beim Zusammenfluss etwa 40–50 m/Jahr. Noch höhere Geschwindigkeiten werden weiter gletscheraufwärts beobachtet.

6.2.5 Vergleich Modell–Messungen

Ziel der UAAR-Forschungsgruppe ist es, ein 3D-Modell zu entwickeln, welches möglichst gut mit den am Gletscher ablaufenden Prozessen übereinstimmt. Als Modell dient ein Netz mit beschränkter Anzahl Elemente (Finite-Elemente-Netz), welches einen Vergleich mit den Feldmessungen ermöglicht.

Für den Unteraargletscher wurde ein Netz aus 6426 Elementen und 7920 Knoten generiert. In jedem Iterationsschritt mussten etwa 24 000 Gleichungen gelöst werden. Das allgemeine Gletschereisverhalten konnte so gut reproduziert werden. Besonders in der Länge (d.h. in Fliessrichtung) liefert das Modell beinahe übereinstimmende Werte, hingegen weicht es in der Querrichtung (senkrecht zur Fliessrichtung) z.T. stark ab (Abb. 14 und 15).

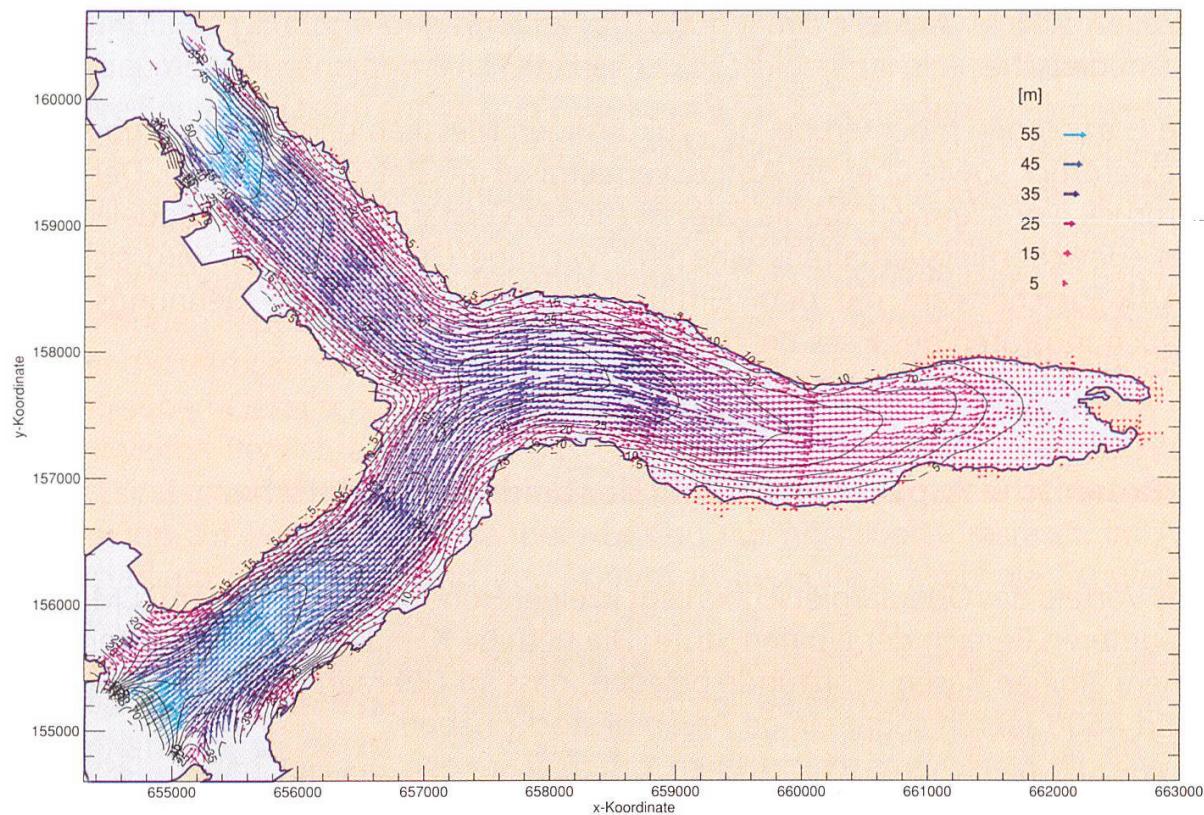


Abbildung 14: Fotogrammetrische Bewegungsmessungen 1997/98 an der Oberfläche des Unteraargletschers (nach BAUDER 2001: 65).

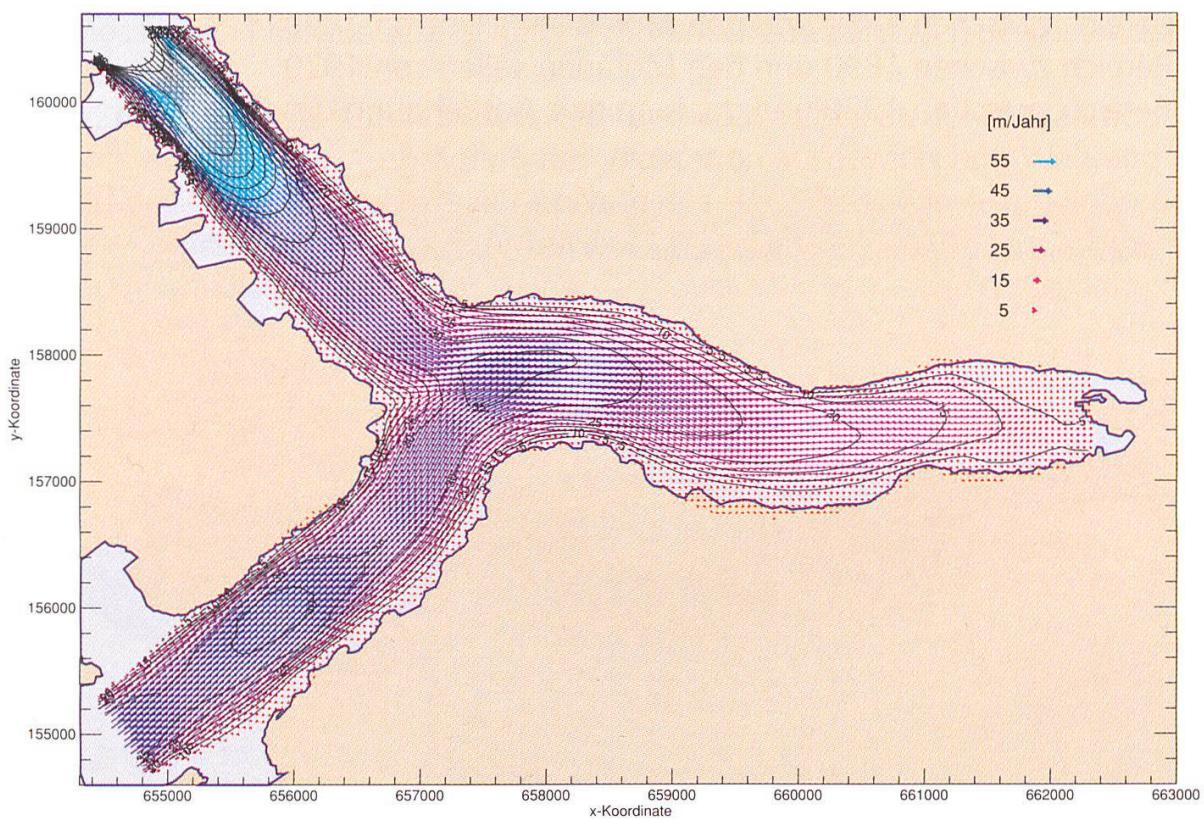


Abbildung 15: Modellierte Geschwindigkeit 1997/98 an der Oberfläche des Unteraargletschers (nach BAUDER 2001: 93).

6.2.6 Ausblick: Aktuelle Fragen für die zukünftige Forschung am Unteraargletscher

Die Glaziologen möchten bei den zukünftigen Messkampagnen mehr über den Wasserdruck sowie über die Abflussverhältnisse im Gletscher erfahren. Der Wasserdruck, vor allem der subglaziale, ist für das Verständnis und die Modellierung des Gletscherfliessverhaltens eine sehr wichtige Grösse. Weiter wird sich das UAAR-Forscherteam mit dem Einfluss des Geländes auf die Dehnungs- und Stauchungsraten des Eises beschäftigen.

7. Botanische Aspekte im Umfeld der beiden Aaregletscher

Das Vorfeld des Oberaargletschers liegt in einer Höhe von etwa 2300 m ü.M., also im unteren Bereich der alpinen Stufe. Die heutige Klimaxvegetation besteht aus einem alpinen Rasen. Holzfunde belegen, dass im Oberaarboden zumindest vor rund 4600 Jahren sogar einige Arven gestockt haben.

Wie die gletschergeschichtlichen Untersuchungen gezeigt haben, lässt sich das Oberaargletschervorfeld und seine Umgebung in mehrere Bereiche gliedern (AMMANN 1977, Abb. 16):

- 1 Bereich ausserhalb des letzten Hochstandes von 1860
- 2 Bereich zwischen 1860 und den Moränenwällen von 1890
- 3 Bereich zwischen 1890 und den Moränenwällen von 1920
- 4 Bereich zwischen 1920 und der heutigen Ausdehnung des Gletschers

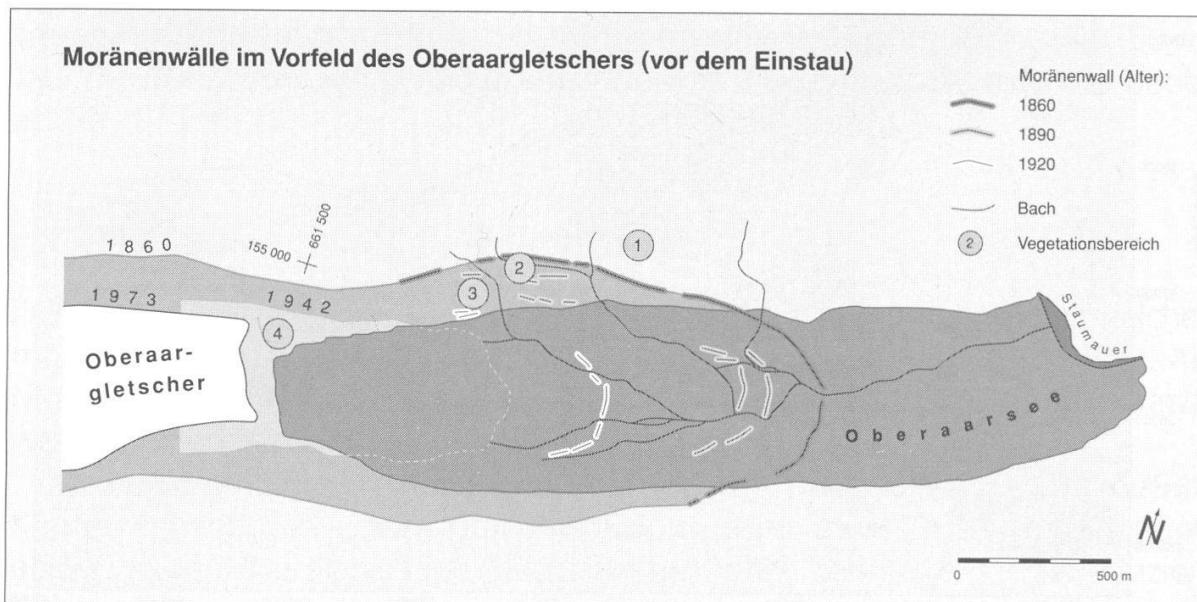


Abbildung 16: Moränenwälle und Vegetationsbereiche beim Oberaargletscher (nach AMMANN 1977, ergänzt).

Ausserhalb des letzten Hochstandes von 1860 konnte sich auf der Nordseite als Folge der mehrtausendjährigen Eisfreiheit ein geschlossener alpiner Rasen (insbesondere Borstgrasrasen) entwickeln (AMMANN 1979). Exponiertere Stellen werden von der Krummsegge (*Carex curvula*) eingenommen. Da im Gebiet des Oberaargletschers das relativ wasserundurchlässige Kristallin des Aarmassives ansteht, finden sich auch viele Hangmoore (*Caricetum fuscae*) und diverse Rinnen, in denen sich moosreiche Quellfluren angesiedelt haben. In Muldenlagen haben sich die niedrigen Teppiche der Schneetälchenflur (*Salicion herbaceae*) ausgebildet, während die trockenen Kuppenlagen von verarmten Beständen der Wacholder-Bärentrauben-Gesellschaft (*Juniper-Arctostaphyletum*) besiedelt werden.

Im zweiten Bereich ändert sich das Vegetationsbild drastisch. In diesem Abschnitt sind maximal etwa 140 Jahre für die Bodenbildung und die anschliessende Besiedlung zur Verfügung gestanden. Es sind nur noch Borstgrasrasen im Anfangsstadium vorhanden, und neu kommt insbesondere auch die Schweizer Weide (*Salix helvetica*) dominant vor.

Innerhalb des dritten Bereiches herrscht die Weidenröschenflur (*Epilobietum fleischeri*) vor, während sie im vierten und jüngsten Bereich des Vorfeldes nur noch lückenhaft ausgebildet ist. Gegen das Zungenende hin nimmt der Anteil an Blütenpflanzen kontinuierlich ab, und Moose treten an ihre Stelle.

Im Vorfeld des Oberaargletschers inklusive seinem Umland kann eine Abfolge von Moosen bis zu geschlossenen alpinen Rasen beobachtet werden, auch wenn im Detail durch das verschiedenartig ausgeprägte Mikrorelief ein kleinräumiges Mosaik von Pflanzengesellschaften vorherrscht und diverse Spezialstandorte existieren.

Die Zunge des Unteraargletschers liegt rund 400 m tiefer als der Oberaarboden, was sich auch auf die Ausprägung der Vegetation ausgewirkt hat. Während im Vorfeld des Oberaargletschers nur noch fossile Holzstücke von Arven geborgen werden konnten, stockt auf der südexponierten Seite («Sunnig Aar», Abb. 17) als botanische Besonderheit ein kleiner Arvenwald. Im terrassierten Gelände mit



Abbildung 17: Sunnig Aar. Aufnahme: A. WIPF.

seinen Hangmooren finden sich auch einige Raritäten wie z.B. der Englische Sonnentau. Im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung wurde die bereits von Scheuchzer beschriebene Pflanze wieder entdeckt. Das Gletschervorfeld wurde leider durch den Stausee fast vollständig unter Wasser gesetzt.

Bedeutung der Gletschervorfelder

Unter dem Begriff «Gletschervorfeld» wird das Gebiet zwischen der heutigen Ausdehnung des Gletschers und seinen postglazialen Hochstandswällen verstanden (HOLZHAUSER 1982).

Diese vom Eis freigegebenen Flächen vermitteln einen Eindruck, wie die Landschaft kurz nach der letzten Eiszeit grossräumig im Mittelland ausgesehen haben dürfte. In diesen Vorfeldern zeigt sich eine hohe Dynamik, wird doch das noch nicht verfestigte Moränenmaterial ständig durch die sich wechselnden Schmelzwasserbachläufe abgetragen und wieder abgelagert. Da die Gletschervorfelder z.T. erst seit kurzem (seit Mitte des vorletzten Jahrhunderts) den Witterungseinflüssen ausgesetzt sind, weisen sie noch einen gut erhaltenen Formenschatz auf. Die vielgestaltige Topographie mit ihren kleinräumigen Unterschieden bezüglich Boden- und Feuchtigkeitsverhältnissen ermöglicht das Vorkommen einer reichhaltigen Pflanzen- und Tierwelt. Das Spektrum reicht von Pionierpflanzen, die auf instabilen, nährstoffarmen Böden mit wechselnden Wasserverhältnissen und erst seit wenigen Jahren eisfrei gewordenem Untergrund aufkommen und sich an die extremen Verhältnisse angepasst haben, bis zu Dauergesellschaften, die sich bei optimalen Bedingungen nach einigen hundert Jahren einstellen können (z.B. Lärchen-Arven-Wald). In den Vorfeldern kann sowohl eine Sukzession als auch eine Zonation (zeitliche bzw. räumliche Abfolge der Vegetationsentwicklung) beobachtet werden.

Projekt IGLES

Die uralten und ökologisch wertvollen Gletschervorfelder sind heutzutage von verschiedenen Seiten bedroht oder bereits stark in Mitleidenschaft gezogen worden (Überstauungen, Wasserfassungen, Kiesabbau, touristische Erschliessungen, Militär usw.). Um diese einzigartigen Lebensräume zu erhalten bzw. zu schützen, wurde das Projekt IGLES (Inventarisierung der Gletschervorfelder und alpinen Schwemmebenen; als Ergänzung des Bundesinventars der Auengebiete von nationaler Bedeutung um die alpinen Auengebiete) Anfang der 1990er Jahre lanciert. Nach mehrjähriger Feldarbeit mit anschliessender Bewertung wurde ein Vorschlag mit 55 Gletschervorfeldern und 15 alpinen Schwemmebenen erarbeitet, die Aufnahme in die Auengebiete von nationaler Bedeutung finden sollten (BUWAL 1999). Am 1. August 2001 wurden davon 65 Objekte definitiv ins Aueninventar integriert.

8. Fazit: Wie Wahrnehmung und Bedeutung der Landschaft sich wandeln

(KATHARINA VON STEIGER, DRES SCHILD & GUSTAV TRIBOLET)

Seit Jahrhunderten haben sich Menschen in der Landschaft der Aaregletscher aufgehalten, haben diese wilde Gegend aufgesucht, betrachtet, gekannt und in bescheidenem Umfang für Alpwirtschaft und Jägerei genutzt. Die ursprüngliche *Naturlandschaft* wurde wahrgenommen als vorgegebener Raum, als grösseres Ganzes, in das man sich fraglos zu fügen suchte. Erst allmählich, mit wachsenden Ansprüchen und Möglichkeiten, wurde auch hier die Landschaft zur vom Menschen gestalteten *Kulturlandschaft*.

Die Alpen wurden in der Vergangenheit allerdings auch als Hindernis wahrgenommen, das man überwinden musste, um Handel zu treiben, um neuen Lebensraum zu erschliessen oder fremdes Staatsgebiet zu erobern. Durch Saumwege und Passstrasse wurde die Landschaft an der Grimsel teilweise zur *Verkehrslandschaft* umgewandelt.

Seit der Industrialisierung hat sich das menschliche Verhältnis zur Landschaft grundlegend verändert: Natur wird nun als Material wahrgenommen und auf ihre Verwertung hin geprüft. Was nicht materiell nutzbar ist, gilt entweder als wertlos, unrentabel oder wird zur kostenlosen *Erholungslandschaft* erklärt.

Mit Beginn der Nutzung der Wasserkraft und dem Bau von Staumauern hat eine weitere Veränderung der Landschaft eingesetzt: Das Oberhasli ist im Laufe des 20. Jahrhunderts auch zur *Stromlandschaft* geworden. Hier drohte mit dem gigantischen Projekt «Grimsel West» der Kraftwerke Oberhasli jedes Mass verloren zu gehen – massiver, breiter Widerstand des Grimselvereins und neue Bedingungen im liberalisierten Strommarkt haben den Ausbau verhindert. Seit Ende 1999 wird «KWO plus» – ein anderes, von den Umweltauswirkungen her weniger monströses Projekt – diskutiert. Zur immer rücksichtsloseren Nutzung der vorgefundenen Landschaft und zur fortschreitenden Verdrängung der Natur ist im Laufe der Jahrzehnte eine starke Gegenbewegung entstanden, getragen von Einheimischen, Umweltorganisationen, Wissenschaftler/innen, Politiker/innen und Künstler/innen, sodass es nun gelingen könnte, den Schutz der Grimsellandschaft als Moorlandschaft von nationaler Bedeutung in der Bundesverfassung zu verankern. Leider noch ohne Erfolg sind die Bemühungen geblieben, die Aaregletscher als Bestandteil des Gebiets «Jungfrau–Aletsch» in die Weltnaturerbeliste der UNESCO aufzunehmen als *mit Goldmedaille ausgezeichnete Landschaft*.

Mit dem Einsatz des Grimselvereins und seinen zahlreichen Anlässen wie zum Beispiel dem jährlich neu errichteten Gletscherweib und den alljährlichen Mahn- und Warnfeuern auf dem Sidelhorn sind die Aaregletscher auch zu einer *Protestlandschaft* geworden. Die engagierte Künstler/innengruppe «L'art pour l'Aar» haben die Grimsel auch zur *Kunstlandschaft* gemacht.

Die Natur- und Kulturlandschaft der Aaregletscher wird seit Jahrhunderten vom Menschen genutzt und verändert, mit mehr oder weniger Respekt vor dem Vorgefundenen. Auch die einwirkenden Naturkräfte gestalten die Landschaft und unterwerfen sie einem ständigen Wandel. Was innerhalb der so entstandenen Natur- und Kulturlandschaft weiterem Zugriff durch menschliche Ansprüche entzogen und ungeshmälerter natürlichen Entwicklung überlassen werden soll, wird je nach Kenntnissen, Zeitgeist und Wertentscheidungen unterschiedlich beurteilt.

Vorläufig, in der modernen Waren- und Dienstleistungsgesellschaft, haben materielle und ökonomische Gesichtspunkte auch in der Einschätzung des Wertes einer Landschaft Vorrang – gerade in der kleinen Schweiz, wo echte Naturlandschaften kaum mehr existieren, eine einäugige Sichtweise! Unberührte Flecken sind klein und rar geworden, bedroht von Lärm, Luftverschmutzung, Nutzungs-

ansprüchen, und angesichts unserer Bevölkerungsdichte ist es wenig aussichtsreich, reine Schutzgebiete schaffen zu wollen. Vielleicht müsste es gelingen, im begrenzten Raum Schutz- und Nutzungsinteressen zu verbinden, sodass eine Landschaft wie die an der Grimsel gleichzeitig verschiedene Charakteristiken haben kann.

Landschaft einfach als Landschaft wahrnehmen, betrachten, kennen, sich als Teil des Ganzen darin bewegen, das muss der moderne Mensch wieder lernen.

Literatur

- AGASSIZ, L. (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*. Paris/Leipzig.
- AMMANN, K. (1977): Der Oberaargletscher im 18., 19. und 20. Jahrhundert. In: *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, Bd. XII, Heft 2, Innsbruck, S. 253–291.
- AMMANN, K. (1979): Werden und Vergehen von Pflanzengesellschaften. In: *Berichte der Internationalen Symposien der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde*, Vaduz, S. 227–250.
- BAUDER, A. (2001): Bestimmung der Massenbilanz von Gletschern mit Fernerkundungsmethoden und Fließmodellierungen. Eine Sensitivitätsstudie auf dem Unteraargletscher. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Mitteilungen Nr. 169, 171 S.
- BUWAL (1999): Gletschervorfelder und alpine Schwemmebenen als Auengebiete. Schriftenreihe Umwelt, Nr. 305, Bern, 94 S.
- CHRISTOFFEL, U. (1963): *Der Berg in der Malerei*. Bern, 136 S.
- Die ALPEN (1973–2000): *Zeitschrift des Schweizer Alpen-Clubs*, Bern.
- Die GEETSCHER DER SCHWEIZER ALPEN 1977/78 UND 1978/79 (1986): *Glaziologisches Jahrbuch der Gletscherkommission der Schweiz*. Naturforschenden Gesellschaft, Jubiläumsband 99. und 100. Bericht, Bern, 288 S.
- Du (1954): *Schweizerische Monatszeitschrift*, 14. Jg., Mai Nr. 5, Zürich, 68 S.
- GLETSCHERBLICK 99 (1999): Ein Kunstsommer im Gebirge. SAC-Verlag Bern, 96 S.
- GRUNER, G.S. (1760): *Die Eisgebirge des Schweizerlandes*, 3 Bde., Bern.
- GUDMUNDSSON, G.H. (1994): Converging Glacier Flow – A Case Study: the Unteraarglacier. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Mitteilungen Nr. 131, S. 120.
- HAEBERLI, W. (1991): Glazalmorphologische und paläoglaziologische Modelle. In: *Modelle in der Geomorphologie – Beispiele aus der Schweiz*. Berichte und Forschungen, Geographisches Institut Freiburg/CH, Vol. 3, S. 7–19.
- HOELZLE, M., VONDER MÜHLL, D., BAUDER, A. & GUDMUNDSSON, G. H. (1998): Die Gletscher der Schweizer Alpen im Jahr 1996/97. In: *Die Alpen. Zeitschrift des Schweizer Alpen-Clubs*, 10/1998, Bern, S. 30–42.
- HOLZHAUSER, H. (1982): Neuzeitliche Gletscherschwankungen. In: *Geographica Helvetica*, Nr. 2/1982, S. 115–126.
- MAISCH, M., BURGA, C.A. & FITZE, P. (1999): Lebendiges Gletschervorfeld. Von schwindenden Eisströmen, schuttreichen Moränenwällen und wagemutigen Pionerpflanzen im Vorfeld des Morteratschgletschers. Zürich, 138 S.
- MAISCH, M., WIPF, A., DENNELER, B., BATTAGLIA, J. & BENZ, C. (1999): *Die Gletscher der Schweizer Alpen. Gletscherhochstand 1850 – Aktuelle Vergletscherung – Gletscherschwundzenarien*. vdf-Verlag, Zürich, 373 S.
- NATURWISSENSCHAFTLICHER ANZEIGER DER ALLGEMEINEN SCHWEIZERISCHEN GESELLSCHAFT FÜR DIE GESAMTEN NATURWISSENSCHAFTEN (1818), 1. Jg. Nr. 5, Bern.
- PATZELT, G. & AELLEN, M. (1990): Gletscher. In: Int. Fachtagung über Schnee, Eis und Wasser der Alpen in einer wärmeren Atmosphäre. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Mitteilungen Nr. 108, S. 47–69.

- TRIBOLET, G. (1998): Die Schwankungen des Rezli- und des Geltengletschers. Unpubl. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Bern.
- URWEIDER, A. (1999): Aaregletscher in der Kunst – «Vom Kupferstich zur Combox» (Manuskript).
- VENETZ, I. (1833): Mémoire sur les variations de la température dans les Alpes suisses. Denkschriften der Allgemeinen Schweizerischen Gesellschaft für die gesamten Naturwissenschaften. Bd. 1, Abt. 2, Zürich, S. 1–38.
- WIPF, A. (1999): Die Gletscher der Berner, Waadtländer und nördlichen Walliser Alpen. Eine regionale Studie über die Vergletscherung im Zeitraum «Vergangenheit» (Hochstand von 1850), «Gegenwart» (Ausdehnung im Jahr 1973) und «Zukunft» (Gletscherschwundszenerien, 21. Jh.). Physische Geografie, Vol. 40, Zürich, 295 S.
- ZUMBÜHL, H.J. & HOLZHAUSER, H. (1988): Alpengletscher in der Kleinen Eiszeit. In: Die Alpen. Zeitschrift des Schweizer Alpen-Clubs, 3. Quartalsheft 1988, Bern, S. 129–322.

