Wilfried Haeberli*

Gletscherschwund – Verlust eines Mythos?

Gletscher gehören zum Alpenmythos, der in der Zeit von Rousseau und Haller das zuvor dominierende Bild der «montes horribiles» ablöste (Walter 1996). Wie die Kuh und die Alpwiesen sind sie aber auch Teil des Heimatgefühls im Gebirgsland Schweiz, oft und weltweit verwendetes Sinnbild für eine intakte Mensch-Umwelt-Beziehung *(Abb. 1)* und erfolgreich kapitalisierte Tourismus-Attraktion – also selber ein Mythos. Mit dem weltweiten und beschleunigenden Schwund der Gletscher wandeln sich allerdings die Projektionen zum Phänomen Gletscher zunehmend. Geht dabei nur ein Mythos verloren?

Klimaänderungen verursachen auffällige Schwankungen der Gletscher. Die längste Tradition der Beobachtung und Dokumentation solcher Gletscherschwankungen besteht in den Alpen. Schon 1893, also vor über einem Jahrhundert, wurden in der Schweiz durch François Alphonse Forel, auch Begründer der modernen Seenforschung, systematische Messungen initiiert. Bereits ein Jahr später, 1894, folgte anlässlich des 6. Internationalen Geologie-Kongresses in Zürich der Beginn eines weltweit koordinierten Programms von Gletscher-Beobachtungen nach dem Vorbild des Schweizer Messnetzes (Forel 1895). Dieses einzigartige Langfrist-Unternehmen im Bereich der Umweltbeobachtung wird heute noch im Rahmen des United Nations Environment Programme (UNEP) in der Schweiz geleitet (World Glacier Monitoring Service, WGMS http://www.wgms.ch/; Haeberli 2005, UNEP 2007, Zemp et al. 2008). Inzwischen hat sich die wissenschaftliche wie auch die öffentliche Wahrnehmung der Gletscher und ihrer Veränderungen stark gewandelt (Haeberli 2007, Haeberli und Zumbühl 2003).

Das wissenschaftliche Beobachtungsprogramm ging während der Weltkriege und der Wirtschaftskrise durch schwierige Zeiten. Das wissenschaftliche Interesse war damals so gering, dass die Phase massiven und wohl weltweiten Gletscherschwundes in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts nur marginal zur Kenntnis genommen wurde. Anfangs der 1980er-Jahre war das unterdessen von der UNESCO getragene Programm zudem mit problematischen eismechanischen Konzepten (unrealistisch lange Reaktionszeiten der Gletscher) konfrontiert und entsprechend umstritten. Die numerischen Rechenmodelle mit ihrem Bedarf an gemessenen Inputdaten, vor allem aber die eklatante Entwicklung in der Natur machten dann allen Zweifeln ein Ende. Heute gelten Gebirgsgletscher in internationalen Klima-

* Prof.Wilfried Haeberli, Glaziologie, Geomorphodynamik und Geochronologie, Geographisches Institut, Universität Zürich, Winterthurerstrasse 190, 8057 Zürich

Sonderdruck aus «Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern», Band 66, 2009



Abbildung 1: Chamonix-Tal mit vorstossendem Mer de Glace, dargestellt von Jean-Antoine Linck («La chaîne du Mont-Blanc vue de la Flégère»; gezeichnet in der Mitte unten «Jn Ante Linck fec.»; Wasserfarbe und Gouache; 62.0 x 85.5 cm; Musée d'art et d'histoire, Genève, Inv. Nr. 1915–75; Photo H.J. Zumbühl).

programmen als «unique demonstration objects»: auch ohne akademische Bildung können die Veränderungen visuell wahrgenommen und in ihren physikalischen Grundprinzipien – Schneefall und Schmelzen von Schnee und Eis in direkter Abhängigkeit von atmosphärischen Gegebenheiten – qualitativ verstanden werden. Die Aufgabe wissenschaftlicher Programme ist es, quantitative Daten zu liefern, eine Übersicht über die Entwicklung in Zeit und Raum zu vermitteln und Szenarien für die Zukunft als Grundlagen für politische Entscheide zu entwerfen. Solche Szenarien zeigen klar, dass es den Gletschern gar nicht gut geht, ja mancherorts sogar ihr Ende absehbar wird.

Die Interpretation der beobachteten Phänomene und Veränderungen war schon vor dem Beginn moderner Messprogramme mit Fragen fundamentalen Charakters verbunden und tangiert heute wieder ernste Aspekte wissenschaftlicher, politischer und ethischer Natur. Anfangs ging es vor allem um die Entstehung der Erde (Eiszeittheorie) und die Auseinandersetzung mit dem biblischen Schöpfungsbild. Die Vorstellung von grossflächigen Vergletscherungen hatte damals vor allem für die Gelehrten des Unterlandes unglaubhaften wenn nicht gar blasphemischen

Charakter, da solche Phänomene weder in der Bibel erwähnt noch den damaligen Menschen aus der Natur bekannt waren. Schmerzhaft war dies vor allem für den tief religiösen Promotor der Eiszeittheorie, Louis Agassiz. Zusammen mit einem interdisziplinären Team führte dieser in den 1840er-Jahren systematische Studien auf dem Unteraargletscher durch, um seine Gletschertheorien durch präzise Beobachtungen und Experimente am Objekt selber zu belegen (Agassiz 1847) – der Beginn der modernen empirischen Gletscherforschung. Nach Überzeugung von Agassiz hatte der Schöpfer die Erde vereist, um ganz im Sinn der biblischen Sintflut – nur mit Eis statt Wasser – sozusagen «tabula rasa» zu machen, in einem entscheidenden Akt das Leben auf der Erde in Vollendung neu zu gestalten und mit der Erschaffung des Menschen seinem Werk die Krone aufzusetzen (Bolles 2000). Folgerichtig entwickelte Agassiz dann während seiner Tätigkeit an der Harvard University in Anlehnung an Überlegungen von Aristoteles und Plato eine Theorie, wonach der Schöpfer den verschiedenen – seiner Ansicht nach der «Krone der Schöpfung» unterschiedlich entsprechenden – Menschenrassen geeignete Klimazonen zugewiesen habe (Love 2004). Es war denn Agassiz auch unmöglich, die Darwin'schen Überlegungen zur Entwicklung der Arten zu akzeptieren – ganz im Gegensatz zum Darwin'schen Interesse an den Eiszeiten mit ihren beispielhaften Selektionsmechanismen für die Evolution irdischen Lebens (Fleming 2006). Das Phänomen Gletscher war nicht nur mit romantischen Vorstellungen von den «reinen» und «reinigenden» Alpen, sondern auch mit revolutionär neuen Weltbildern und markanten Widersprüchlichkeiten ins öffentliche Bewusstsein eingetreten.

Das Wissen um die Eiszeiten hat längst unser Wissen über die jüngere Erdgeschichte und die Mechanismen der Klimaschwankungen revolutioniert. Die Frage nach den Eiszeiten und den damit verbundenen dramatischen Veränderungen der Lebensbedingungen auf der Erde hat in anderem Zusammenhang allerdings nichts an Brisanz eingebüsst. Die Klimaszenarien für das 21. Jahrhundert zeigen, dass die Menschheit über die zunehmende Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre ein Experiment mit dem Klimasystem begonnen hat, das durchaus Dimensionen eines Eiszeitexkurses (Veränderung – heute Anstieg – der globalen Temperaturen um mehrere °C) aufweist, nicht mehr gestoppt, sondern nur noch beeinflusst werden kann, nicht in Jahrtausenden, sondern in Jahrzehnten abläuft, nicht eine ferne Zukunft, sondern bereits die Generation unserer Kinder massiv trifft und für viele kommende Generationen irreparable Nachteile schaffen dürfte. Am Zustand der Gebirgsgletscher als «unique demonstration objects» werden zukünftige Generationen erkennen, welche Klimaszenarien tatsächlich eingetroffen sind.

Zusammen mit Daten aus langjährigen Beobachtungsreihen ermöglichen es die modernen Technologien der Fernerkundung (Paul and Haeberli 2008), der Geoinformatik (Zemp et al. 2006) und der numerischen Modellierung (Huss et al. 2008, Machguth et al. 2006, Paul et al. 2007) zunehmend, Entwicklungen der Gletscher

in Gebirgsregionen wie den Alpen als Funktion von Raum und Zeit immer besser quantitativ zu erfassen und für zukünftige Klima-Szenarien zu berechnen. Zwischen dem Ende der «Kleinen Eiszeit» um 1850 und den 1970er-Jahren ist rund die Hälfte des alpinen Gletschervolumens (ca. 0.5% pro Jahr) weggeschmolzen *(Abb. 2)*. Bis zur Jahrtausendwende sind vom verbleibenden Eis nochmals rund 25% – also etwa 1% pro Jahr – verschwunden. Seither sind die Verluste auf etwa 20 bis 25% oder rund 2–3% pro Jahr gestiegen. Allein der Extremsommer 2003 hat geschätzte 8% (5–10%) des alpinen Gletschereises entfernt (Haeberli et al. 2007, Zemp et al. 2007). Die Gletscheroberflächen haben sich dabei durch Staubeintrag dunkel verfärbt und absorbieren dadurch wesentlich mehr Sonnenstrahlung als noch vor dem Jahr 2003 – ein auffälliger und anhaltender Effekt der Selbstverstärkung im langfristigen Schmelzprozess (Paul et al. 2005, Oerlemans et al., im Druck). Bereits um die Jahrhundertmitte könnte wesentlich mehr als die Hälfte des heute noch vorhandenen Gletschereises der Alpen verschwunden sein (Zemp et al. 2006). Eine solche Entwicklung führt mit zunehmender Geschwindigkeit über den Variabilitätsbereich der vorindustriellen Gletscher-/Klimaschwankungen seit der Eiszeit hinaus (vgl. dazu die weltweite Übersicht von Solomina et al. 2008).

Der fast ausnahmslose Rückgang und Zerfall der Gletscher ist ein in breiter Öffentlichkeit wahrgenommenes Zeichen für eine schnelle Veränderung globaler Dimension geworden. In den vergangenen drei Jahrzehnten haben die Volumen-

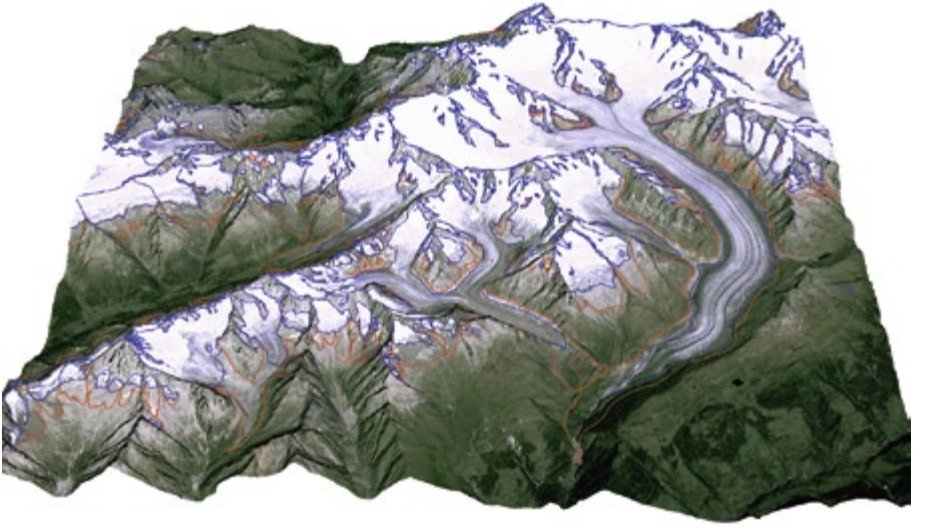


Abbildung 2: Aletschgletscher (perspektivische Schrägansicht). IRS-1C-Satellitenbild vom 20.09.1997 (10 m Auflösung, SW) fusioniert mit einem Landsatbild vom 31.8.1998 (25 m Auflösung, Farbe) und einem digitalen Geländemodell überlagert. Eingezeichnete Gletscherstände von 1850 (rot) und 1973 (blau). Bildverarbeitung F. Paul, Geländemodell swisstopo Satellitendaten NPOC. DHM25 reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA091461).

verluste der weltweit systematisch beobachteten Gletscher stark zugenommen. Gegenüber den Werten der Periode 1980–2000 haben sich die gemessenen Schmelzgeschwindigkeiten verdoppelt. Der vorherige Rekordverlust im Jahr 1998 wurde inzwischen bereits drei Mal (2003, 2004, 2006) übertroffen, im Jahr 2006 sogar um den Faktor 2 *(Abb. 3)*.

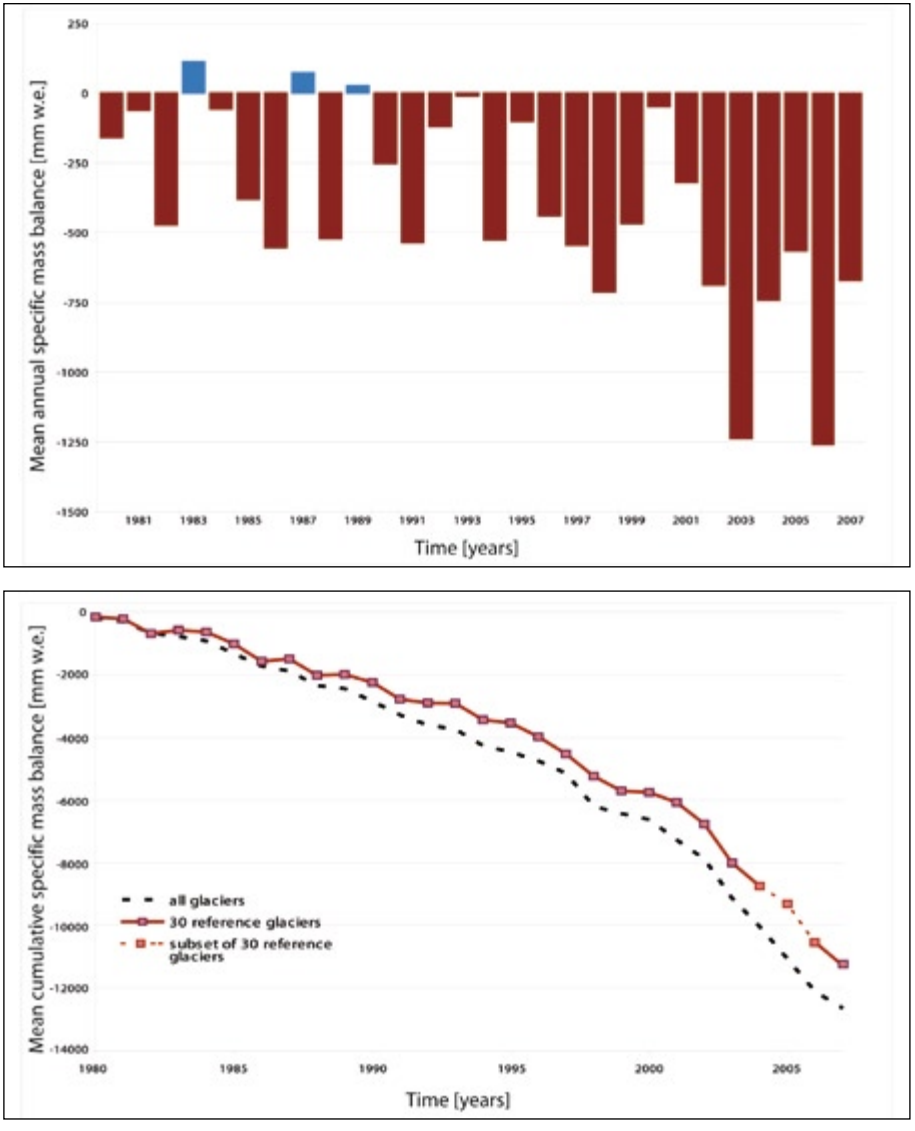


Abbildung 3: Jährliche (oben) und kumulative (unten) Massenbilanzen von Gletschern mit ununterbrochenen Zeitreihen (v.a. Eurasien und Nordamerika). Daten und Graphik WGMS.

Mit dem Verschwinden der Gletscher einher geht ein rasanter Wandel der Hochgebirgslandschaft. Neue Seen wie am Grindelwald-, Rhone- oder Triftgletscher, zukünftig wohl auch am Gorner- und Aletschgletscher sowie an zahlreichen anderen Orten geraten ins Blickfeld vielfältiger Interessen. Sie ersetzen einen Teil der mit dem Gletscherzerfall schwindenden touristischen Attraktivität und eröffnen interessante Perspektiven für die Gewinnung von Hydroenergie. Sie bilden sich aber auch in einem zunehmend destabilisierten Umfeld von steilen Bergflanken mit abnehmender Gletscher-Abstützung und aufgeheiztem Permafrost und stellen deshalb ein rechtzeitig und umfassend abzuklärendes Gefahrenpotenzial dar (Haeberli und Maisch 2008, Haeberli and Hohmann 2008). Weit über den betroffenen lokalen bis regionalen Skalenbereich hinaus werden veränderte Schneeverhältnisse (v.a. stark vorverlegte Schneeschmelze) und versiegender Schmelzwasserabfluss von Gletschern das Wasserdargebot in der warmen Jahreszeit (Spätsommer) massiv reduzieren. In der zweiten Jahrhunderthälfte könnten häufiger eintretende Hitze- und Dürresommer wie im Jahr 2003 zu lang andauerndem Wassermangel und ernsten Folgen für Ökosysteme, Wirtschaft und Leben in Mitteleuropa führen (Fischlin und Haeberli 2008). Weltweit sind rund eine Milliarde Menschen in der Trockenzeit mehr oder weniger direkt vom Dargebot an Gletscherschmelzwasser abhängig (UNEP 2007). Selbst global wird der Gletscherschwund Folgen haben: die Gletscherschmelze dürfte in unserem Jahrhundert den Anstieg des Meeresspiegels dominieren (Meier et al. 2007). Sogar eine zunehmende Instabilität der kontinentalen Eisschilde Grönland und (West-) Antarktis ist mit dem rapiden Rückzug grosser Auslassgletscher in den Bereich der Möglichkeit geraten.

Mit dem Schwinden der Gletscher verbunden ist viel mehr als nur der Verlust eines historisch-romantisch-ideologischen Mythos vom «ewigen Eis»: ein starkes Symbol für eine intakte Umwelt wird mehr und mehr zum Ausdruck irreparabel zerstörter Lebensgrundlagen. Werden die Gletscher als «unique demonstration object» wenigstens wachrütteln und den längst überfälligen Schritt vom Wissen zum Handeln ermöglichen?

Literatur

Agassiz, l. (Guyot, A./Desor, E.) (1847): Système glaciaire ou recherches sur les glaciers, leur mécanisma, leur ancienne extension et le rôle qu'ils ont joué dans l'histoire da la terre. Première partie: Nouvelles études et experiences sur les glaciers actuels, leur structure, leur progression et leur action physique sur le sol; Textbd. Und Atlas. Paris/Leipzig.

Bolles, E.B. (2000): Eiszeit. Wie ein Professor, ein Politiker und ein Dichter das ewige Eis entdeckten. Aus dem Amerikanischen von A. Becker. Berlin.

Fischlin, A. und Haeberli, W. (2008): Auch in der Schweiz wirkt sich der Klimawandel zunehmend aus. Kapitel 4 in: Das Klima ändert – was nun? Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus der Sicht der Schweiz, OcCC/scnat, Bern, 21–32.

Fleming, F. (2006): Nach oben. Die ersten Eroberungen der Alpengipfel. Piper München 468p.
Forel, F.-A. (1895): Les variations périodiques des glaciers. Discours préliminaire. Archives des Sciences physiques et naturelles, Genève, XXXIV, p. 209–229.
Haeberli, W. (2005): Mountain glaciers in global climate-related observing systems. In: Huber, U.M., Burgmann, H.K.H. and Reasoner, M.A. (eds): Global Change and Mountain Regions (A State of Knowledge Overview). Springer, Dordrecht, 169–175.
Haeberli, W. (2007): Changing views of changing glaciers. In: Orlove, B., Wiegandt, E. and Luckman, B.H. (eds.): Darkening Peaks – Glacial Retreat, Science and Society. University of California Press, 23–32.
Haeberli, W. and Hohmann, R. (2008): Climate, glaciers and permafrost in the Swiss Alps 2050: scenarios, consequences and recommendations. In: Kane, D.L. and Hinkel, K.M. (eds): Ninth International Conference on Permafrost, Institute of Northern Engineering, University of Alaska Fairbanks, Vol 1, 607–612.
Haeberli, W. und Maisch, M. (2008): Alpen ohne Eis? Geographische Rundschau 60 (3), 14–21.
Haeberli, W. und Zumbühl, H.J. (2003): Schwankungen der Alpengletscher im Wandel von Klima und Perzeption. In: Jeanneret, F. et al. (eds): Welt der Alpen – Gebirge der Welt. Haupt, Bern, 77–92.
Haeberli, W., Hoelzle, M., Paul, F. and Zemp, M. (2007): Integrated monitoring of mountain glaciers as key indicators of global climate change: the European Alps. Annals of Glaciology 46, 150–160.
Huss, M., Farinotti D., Bauder, A. and Funk, M. (2008). Modelling runoff from highly glacierized alpine drainage basins in a changing climate. Hydrological Processes, 22(19), 3888–3902, doi:10.1002/hyp.7055.
Love, E.T.L. (2004): Race over empire – racism and U.S. imperialism 1865–1900. The University of Carolina Press, Chapel Hill and London, 245p.
Machguth, H., Paul, F., Hoelzle, M. and Haeberli W. (2006): Distributed glacier mass-balance modelling as an important component of modern multi-level glacier monitoring. Annals of Glaciology, 43, 335–343.
Meier, M.F., Dyurgerov, M.B., Rick, U.K., O'Neel, S., Pfeffer, W.T., Anderson, R.S., Anderson, S.P. and Glazovsky, A.F. (2007): Glaciers dominate eustatic sea-level rise in the 21st century. Science, 317 (5841): 1064–1067.
Oerlemans, J., Giessen, R.H. and van den Broeke, M.R. (2009): Retreating alpine glaciers: increased melt rates due to accumulatiuon of dust (Vadret da Morteratsch, Switzerland). Journal of Glaciology (in press).
Paul, F., Machguth, H. and Kääb, A. (2005): On the impact of glacier albedo under conditions of extreme glacier melt: the summer of 2003 in the Alps. EARSeL Workshop on Remote Sensing of Land Ice and Snow, Berne, 21.–23.2. 2005. EARSeL eProceedings, 4 (2), 139–149.
Paul, F., Machguth, H., Hoelzle, M., Salzmann, N. and Haeberli, W. (2007): Alpinewide distributed glacier mass balance modelling – a tool for assessing future glacier change? In: Orlove, B., Wiegandt, E. and Luckman, B.H. (eds.): Darkening Peaks – Glacial Retreat, Science and Society. University of California Press, 111–125.
Paul, F. and Haeberli, W. (2008): Spatial variability of glacier elevation changes in the Swiss Alps obtained from two digital elevation models. Geophysical Research Letters 35, L21502, doi: 10.1029/2008/GL034718.
Solomina, O., Haeberli, W., Kull, C. and Wiles, G. (2008): Historical and Holocene glacier-climate relations: general concepts and overview. Global and Planetary Change 60, 1–9.
UNEP (2007): Global outlook for ice & snow. UNEP/GRID-Arendal, Norway.
Walter, F. (1996): Bedrohliche und bedrohte Natur – Umweltgeschichte der Schweiz seit 1800. Chronos Verlag Zürich, Deutsche Ausgabe, 244p.
Zemp, M., Haeberli, W., Hoelzle, M. and Paul, F. (2006): Alpine glaciers to disappear within decades? Geophysical Research Letters, 33, L13504 (doi: 10.1029/2006 GL026319).
Zemp, M., Paul, F., Hoelzle, M. and Haeberli, W. (2007): Glacier fluctuations in the European Alps 1850–2000: an overview and spatio-temporal analysis of available data. In: Orlove, B., Wiegandt,

E. and Luckman, B.H. (eds.): Darkening Peaks – Glacial Retreat, Science and Society. University of California Press: p. 152–167.

Zemp, M., Roer, I., Kääb, A., Hoelzle, M. Paul, F. and Haeberli, W. (2008): Global glacier changes: facts and figures. UNEP and WGMS, Nairobi and Zurich.