

Digitale Aufbereitung historischer Gletscherkarten in Bayern

Wilfried Hagg

Zusammenfassung

Bei der Diskussion über die globale Erwärmung wird immer wieder auf die Bedeutung der Gletscher als Klimaindikatoren und Wasserspeicher verwiesen (IPCC 2001; UNEP 1992). In diesem Zusammenhang werden meist die wenigen großen Gletscher der Alpen als Beispiele angeführt. Dabei reagieren kleine Gletscher viel schneller auf Klimaschwankungen und stellen zudem durch ihre zahlenmäßige Überlegenheit einen nicht unerheblichen Teil der alpinen Eisreserven.

Die fünf bayerischen Gletscher bieten sich für Zwecke der Langzeitbeobachtung (engl. Monitoring) besonders an, da sie bereits seit 1889 in unregelmäßigen Abständen vermessen wurden. Allerdings wurden die Daten bisher nur teilweise ausgewertet und liegen zudem auf unterschiedlichen Medien und in verschiedenen Maßstäben und Koordinatensystemen vor.

Ein Hauptziel des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekts „Bayerische Gletscher“, das an der Sektion Geographie der LMU München in enger Kooperation mit der Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften bearbeitet wird, ist die Digitalisierung und Homogenisierung der bestehenden Daten sowie ihre Veröffentlichung in der Internet-Datenbank www.bayerische-gletscher.de.

1. Zur Bedeutung kleiner Gebirgsgletscher

Im Alpenraum existierten zum Aufnahmezeitpunkt des bisher einzigen flächendeckenden Inventars, d.h. in den 1970er Jahren 5154 Gletscher mit einer Gesamtfläche von 2909 km² (IAHS(ICS)/UNEP/UNESCO 1989), woraus sich eine mittlere Fläche von nur 0.56 km² errechnet. Die Auswertung des Schweizer Gletscherinventars aus dem Jahr 2000 zeigte, dass Gletscher mit einer Fläche von weniger als einem Quadratkilometer rund 90% der Anzahl und 31% der Fläche bestreiten (PAUL et al. 2004). Ähnliche Verteilungen werden auch in anderen Gebirgsregionen der niederen und mittleren Breiten beobachtet (GLAZIRIN 1985; DIKICH und HAGG 2004), was die Bedeutung der kleinen Gletscher für den Wasserhaushalt von Gebirgen und ihrer Vorländer unterstreicht.

Vor diesem Hintergrund erscheint es als Ungleichgewicht, dass der Schwerpunkt alpiner Gletscherforschung auf relativ großen Gletschern (z.B. Glacier de Sarnennes, Unteraargletscher, Ghiacciaio del Belvedere, Pasterze, Vernagtferner) liegt. Auch in Deutschland wurde meist dieser Weg beschritten, da für glaziologische Forschungsprojekte als vermeintlich lohnendere Untersuchungsobjekte große Gletscher im Ausland gewählt wurden, obwohl hierzulande noch fünf Musterbei-

spiele kleiner Gletscher mit individuellen Existenzbedingungen vorzufinden sind. Dies sind der Höllentalferner und die beiden Schneeferner an der Zugspitze (Wettersteingebirge) sowie Watzmanngletscher und Blaueis in den Berchtesgadener Alpen, die heute eine Gesamtfläche von weniger als einem Quadratkilometer bedecken.

Kleine Gletscher sind auch als Klimaindikatoren von besonderer Bedeutung, da sie außerordentlich stark und schnell auf Schwankungen des Klimas reagieren. Die Stärke der Reaktion kann mit ihrer geringen Höhererstreckung erklärt werden. Sie liegen oft mit ihrer gesamten Fläche ober- oder unterhalb der klimatischen Schneegrenze und zeigen deshalb sehr deutliche Massengewinne oder -verluste. Die schnelle Reaktion der kleinen Gletscher geht darauf zurück, dass Massenumsätze auf ihnen schneller vollzogen werden als auf großen. Positive Massenhaushalte erhöhen den Eistransport; wird mehr Eis aus den hochgelegenen Firngebieten ins Zehrgebiet transportiert als dort abschmelzen kann, reagiert das Gletscherende mit einem Vorstoß und umgekehrt. Der Zeitabschnitt vom Klimasignal bis zur Reaktion der Zunge heißt Reaktionszeit und kann bei großen Alpengletschern viele Jahre betragen (MÜLLER 1988). Dies ist ein Grund, warum benachbarte Gletscher unterschiedlicher Größe ein konträres Verhalten zeigen können und unterstreicht die Vorteile der Beobachtung kleiner Gebirgsgletscher, die schnell und synchron auf Klimaschwankungen reagieren.

Außer für klimatologische und hydrologische Fragestellungen sind Gletscher und ihre Veränderungen auch in anderen Bereichen wie Land- und Forstwirtschaft, Ökologie oder Tourismus von großem Interesse. Im Nationalpark Berchtesgaden tragen Watzmanngletscher und Blaueis zur Bereicherung des Landschaftsbilds bei, für die Verlängerung der Skisaison ist die Existenz des Nördlichen Schneeferners auch von ökonomischer Bedeutung. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass ein öffentlich zugängliches Gletscherarchiv für unterschiedlichste Benutzergruppen von Interesse ist.

2. Die Geschichte der Vermessung der bayerischen Gletscher

Erste Vermessungsaufnahmen fanden für den Topographischen Atlas von Bayern statt. In diesem Rahmen wurde das Berchtesgadener Land 1819 aufgenommen. Allerdings fehlt es diesen Karten noch weitgehend an Höheninformationen. Auf dem Positionsblatt „St. Bartholomae“ (Abb. 1) sieht man neben dem Watzmanngletscher noch die Eiskapelle und das Hocheis, die heute keine Gletscher mehr sind.

Während derselben Messkampagne wurde die Zugspitze im Jahr 1826 von Oberleutnant Josef Naus aufgenommen, der im Rahmen von Vorarbeiten den Berg bereits 1820 erstbestieg (BRUNNER und HORST 2007). Das Zugspitzplatt zeigte mit dem Plattachferner damals noch eine zusammenhängende Vergletscherung (Abb. 2), die bereits in etwa der neuzeitlichen Maximalausdehnung entsprach (HIRTLREITER 1992).



Abb. 1:
Ausschnitt aus
Positionsblatt
„St. Bartholo-
mae“ 1:25000
(unveröffentliche
Stichvorlage
für den Topogra-
phischen Atlas
1:50000), ©
Landesamt für
Vermessung und
Geoinformation
Bayern, Nr.
5781/06

Abb. 2:
Ausschnitt aus
Positionsblatt
„Zugspitze“
1:25.000 (unver-
öffentlichte
Stichvorlage für
den Topographi-
schen Atlas
1:50.000), ©
Landesamt für
Vermessung und
Geoinformation
Bayern, Nr.
5781/06

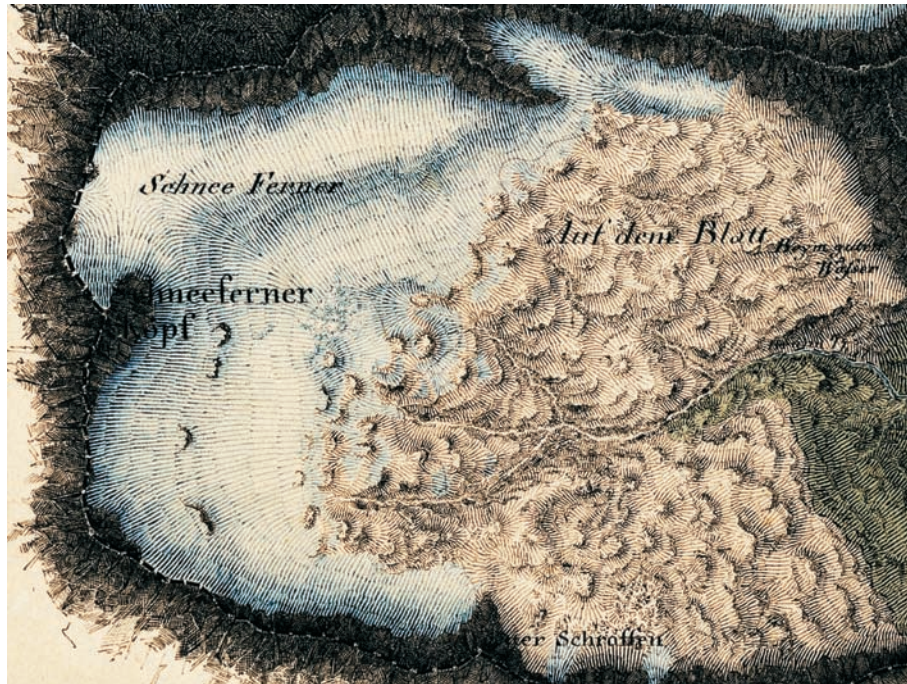


Abb. 3:
Ausschnitt der
Karte „Die Zug-
spitze mit den
Umrandungen
des Plattach und
Höllenthalfer-
ners“ von
WALTENBERGER
(1882)



Um 1875 hat der auch „Plattachferner“ genannte Gletscher erst wenig von dieser Fläche verloren, was eine Karte von Waltenberger im Maßstab 1:50.000 belegt (Abb. 3).

Derselbe Trigonometer Anton Waltenberger wurde im Jahr 1887 vom Deutschen und Österreichischen Alpenverein beauftragt, das bayerisch-österreichische Grenzgebiet im Berchtesgadener Land im Maßstab 1: 5.000 zu vermessen. In diesem Zusammenhang entstanden erstmals Karten mit Höhenlinien auf Gletschern, wenn auch noch mit einer Äquidistanz von 100 m (Abb. 4).

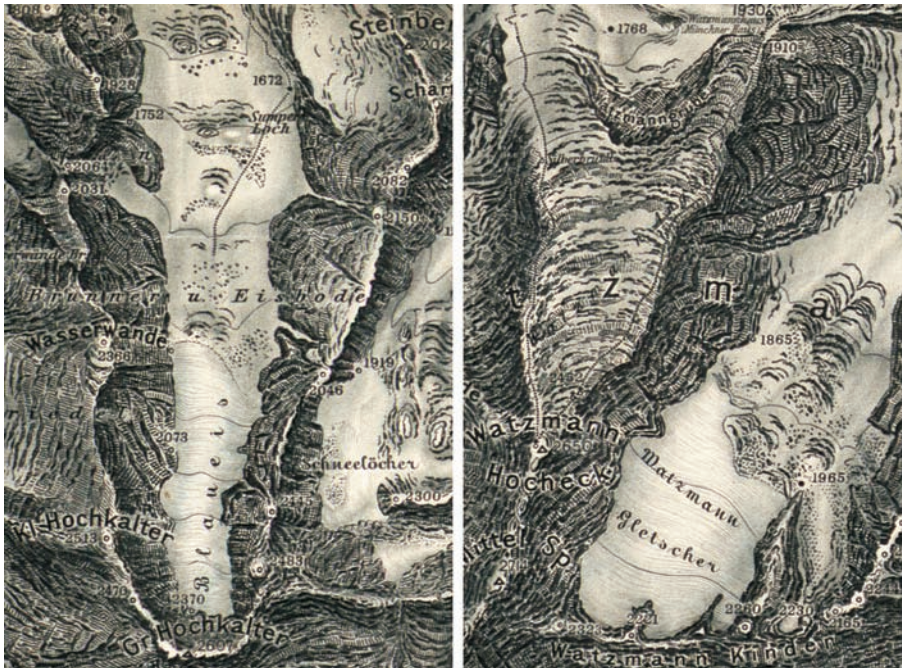


Abb. 4:
Ausschnitte der
„Special-Karte
der Berchtesga-
dener Alpen“
1:50000, Blatt
III (Watzmann)
von WALTENBER-
GER (1887)

Bei einer erneuten Aufnahme der bayerischen Alpen durch das Topographische Bureau nur wenige Jahre später wurden die Höheninformationen dann zahlreicher. Durch eine Vielzahl barometrisch und tachymetrisch bestimmter Höhenpunkte konnten Höhenlinien im Abstand von 10m interpoliert werden (Abb. 5).

Im Jahr 1892 hat schließlich ein anerkannter Pionier der Gletschervermessung, Prof. Sebastian Finsterwalder, im Auftrag des königlich bayerischen topographischen Bureaus zum ersten Mal das photogrammetrische Aufnahmeverfahren in Deutschland angewendet und das Zugspitzplatt gemeinsam mit Premierlieutenant Otto Jäger im Maßstab 1:5.000 vermessen. Der Schneeferner steht hier bereits kurz davor, sich in zwei Teile zu trennen (Abb. 6).

Abb. 5:
Originalaufnahme
des Watzmann-
gletschers durch
das Topographi-
sche Bureau des
Bayerischen Ge-
neralstabs von
1897, © Landes-
amt für Vermes-
sung und Geo-
information Bay-
ern, Nr. 5781/06



In den Jahren 1949 und 1950 erfolgte eine Neuvermessung der bayerischen Gletscher durch Richard Finsterwalder (FINSTERWALDER 1951), Sohn von Sebastian und Mitbegründer der Kommission für Glaziologie (KfG) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. In den nachfolgenden Jahrzehnten führte das Institut für Photogrammetrie und Kartographie der TU München in Zusammenarbeit mit der KfG die photogrammetrische Aufnahme der bayerischen Gletscher in regelmäßigen Abständen durch (FINSTERWALDER 1981, 1992; FINSTERWALDER und RENTSCH 1973). Seit den 1990er Jahren liegen die Produkte teilweise auch als digitale Geländemodelle (DGM) vor.

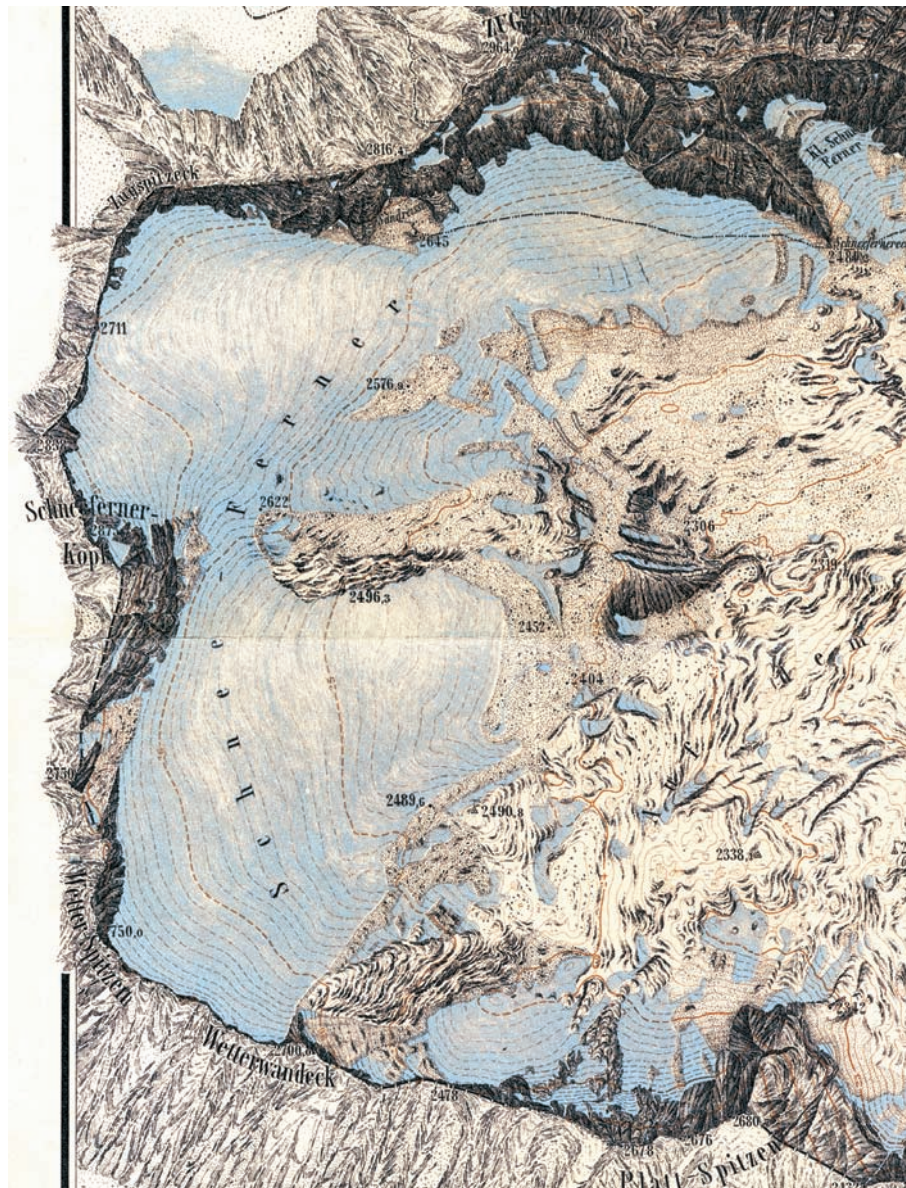


Abb. 6:
Ausschnitt des
Kartenblattes
„Zugspitze“ von
Finsterwalder
und Jäger aus
dem Jahr 1892.
© Landesamt für
Vermessung und
Geoinformation
Bayern, Nr.
5781/06

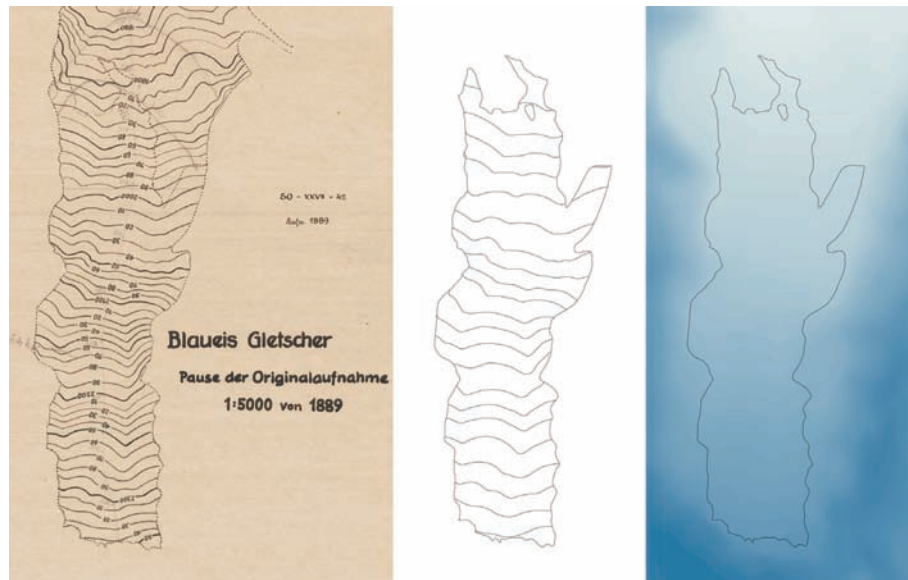
Bei einer Inspizierung der Auswertoriginale im Archiv der TU München wurden auch in Vergessenheit geratene und unveröffentlichte Auswertungen, z.B. vom Blaueis aus dem Jahr 1924 ausfindig gemacht. Die Originale sind auf Transparentpapier, Zeichenkarton oder Kunststofffolien aus Astralon gezeichnet. Vor allem Letztere sind teilweise sehr stark ausgebleicht und befinden sich an der Grenze der Lesbarkeit. Durch die Digitalisierung dieser Höhenlinienpläne wurden diese äußerst wertvollen Daten der Nachwelt erhalten und auf Dauer gesichert.

3. Digitale Aufbereitung der historischen Daten

Das klassische Verfahren zur dreidimensionalen geodätischen Überwachung von Gletschern ist die Photogrammetrie, bei der aus Stereo-Paaren von Luftbildern oder terrestrischen Aufnahmen die Höheninformation gewonnen wird und an analogen Auswertegeräten Höhenlinienpläne hergestellt werden.

Aus solchen topografisch-kartografischen Produkten können sekundär digitale Geländemodelle (DGMs) hergestellt werden. Dazu werden die Pläne gescannt und anhand von Koordinatengittern oder identifizierbaren Punkten mit bekannten Koordinaten georeferenziert, also einer exakten Position auf der Erdoberfläche zugewiesen. Die vorhandenen Höhenlinienpläne der bayerischen Gletscher liegen größtenteils im nicht mehr aktuellen Gauß-Krüger-System und teilweise im noch älteren bayerischen Soldnersystem vor. Um ein einheitliches Bezugssystem zu schaffen, wurden alle verwendeten Originalpläne in das heute gebräuchliche UTM-Gitter umprojiziert. Anschließend konnten die Höhenlinien und Gletschergrenzen am Bildschirm abdigitalisiert und ein DGM mit einer bestimmten Maschenweite berechnet werden. Das DGM ist ein Bild aus Pixeln, denen allesamt X- und Y-Koordinaten sowie Höhenwerte zugewiesen sind. Für die bayerischen Gletscher werden digitale Höhenmodelle generiert, deren Pixel eine Seitenlänge von zwei Metern haben. In Abbildung 7 sind die Arbeitsschritte vom analogen Höhenlinienplan zum DGM am Beispiel der Karte vom Blaueis 1889 dargestellt. Als Ergebnis liegen nun insgesamt 34 homogene DGMs von den bayerischen Gletschern vor und sind über das Internet frei verfügbar.

Abb. 7:
Die Arbeitsschritte bei der digitalen Aufbereitung analoger Karten. Nach dem Scannen und Georeferenzieren erfolgt die Abdigitalisierung von Höhenlinien und Gletschergrenze (Mitte), woraus das digitale Geländemodell (rechts) generiert wird



4. Vorteile digitaler Geländemodelle

Digitale Geländemodelle bieten gegenüber analogen Produkten den Vorteil der schnellen Berechnung topografischer Informationen, wie sie für viele glaziologische Fragestellungen benötigt werden.

Es können zum Beispiel sehr schnell glaziologische Kenngrößen wie die mittlere Gletscherhöhe oder die Verteilung von Flächen, Expositionen oder Neigungen in einzelnen Höhenstufen ausgegeben werden (Abb. 8).

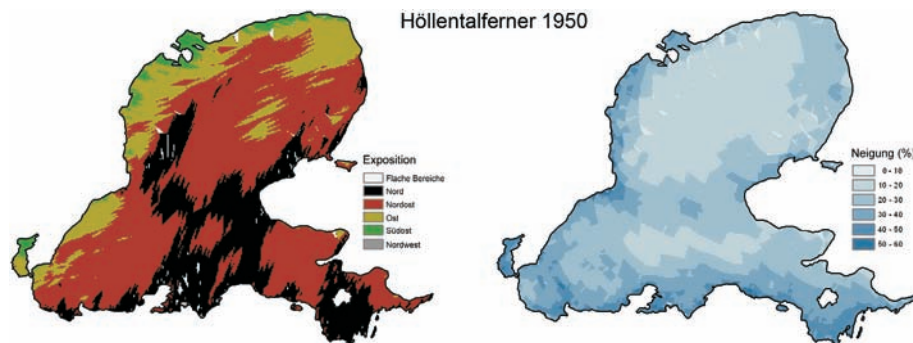


Abb. 8:
Aus dem DGM
des Höllentalfer-
ners von 1950 be-
rechnete Expo-
sitions- und Nei-
gungsklassen

Auch die Berechnung von Höhen- und Volumendifferenzen zwischen zwei Aufnahmen, für die früher mühsam Teilflächen zwischen Höhenlinien planimetriert werden mussten, nimmt nur noch sehr wenig Zeit in Anspruch. Bei den bayerischen Gletschern werden zwischen allen aufeinanderfolgenden DGMs die Flächen-, Höhen- und Volumendifferenzen berechnet. Abbildung 9 zeigt die Höhendifferenz am Watzmanngletscher zwischen 1970 und 1980, als deutliche Massengewinne verzeichnet wurden und zwischen 1980 und 1989, als der bis heute anhaltende Abschmelztrend einsetzte.

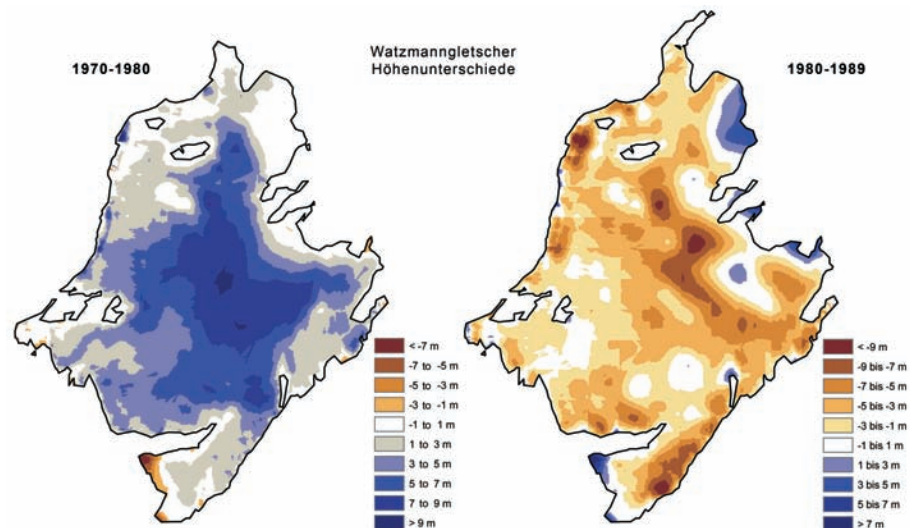
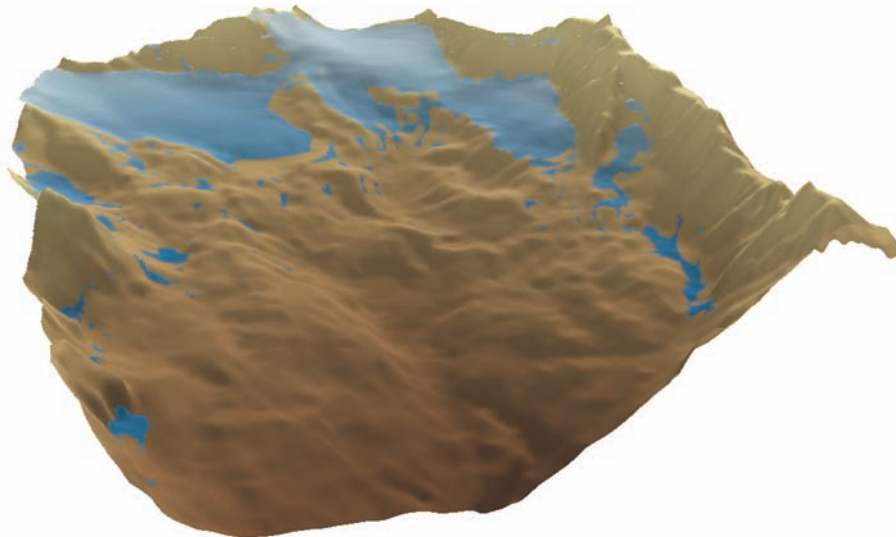


Abb. 9:
Höhenänderun-
gen (in Metern)
am Watzmann-
gletscher von
1970-1980 und
von 1980-1989

Auch bei der Visualisierung bieten digitale Produkte schier unerschöpfliche Möglichkeiten, von klassischen Höhenlinien- und Höhenschichtendarstellungen bis hin zu perspektivischen 3D-Ansichten (Abb. 10).

*Abb. 10:
Perspektivische
3D-Ansicht vom
Zugspitzplatt
1892 (basierend
auf der Karte in
Abb. 6)*



Multimedia-Anwendungen erlauben auch Animationen des Gletscherverhaltens (www.bayerische-gletscher.de), was eine sehr anschauliche und didaktisch wertvolle Visualisierungsmöglichkeit für Lehre und Öffentlichkeitsarbeit darstellt.

5. Die Zukunft der Gletscher in Bayern

In den 1980er Jahren sind die bayerischen Gletscher als Reaktion auf die kühlen Sommer der 1960er und 1970er Jahre zum letzten Mal vorgestoßen, worauf die Medien eine heute bereits wieder vergessene Angst vor der nächsten Eiszeit zu verbreiten versuchten. Seitdem unterliegen die fünf Gletscher in den bayerischen Alpen einem starken Massen- und Flächenschwund. Der Südliche Schneeferner ist bereits in zwei Firnbecken zerfallen und dem Blaueis steht durch einen austauenden Felsriegel ein ähnliches Schicksal unmittelbar bevor.

Legt man die Abschmelzraten der 1990er Jahre zugrunde, als die Gletscher zwischen 30 und 70 cm pro Jahr an Höhe eingebüßt haben, so errechnet sich angesichts der vermutlich geringen Eismächtigkeiten keine hohe Lebenserwartung. Diese Art der Abschätzung ist aber unzulässig, da sich bei einer veränderter Oberflächengeometrie Effekte einstellen können, die das Abschmelzen sowohl beschleunigen als auch verzögern können. So ist es zum Beispiel durchaus denkbar, dass sich lawinengenährte Eisreste unterhalb schattenspendender Felswände noch sehr lange halten. Diese verdienen dann aber wohl kaum noch die Bezeichnung „Gletscher“, zu dem ja per Definition auch eine Bewegung des Eises gehört. Ebenso möglich ist jedoch, dass sich die bayerischen Gletscher - wenn auch erst in

Jahrhunderten oder Jahrtausenden - eines Tages wieder erholen oder, nachdem sie verschwunden waren, völlig neu bilden. Auch wenn heute noch nichts auf eine Trendumkehr hinweist, sollten wir die Natur niemals als derart berechenbar ansehen und eine solche Entwicklung generell und für alle Zeiten ausschließen.

Danksagung

Die Arbeiten werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Projekt HA 5061/1-1) gefördert. Tobias Rödder und Malte Bambl waren fleißige und gewissenhafte Helfer beim Digitalisieren der Zugspitzgletscher. Astrid Lambrecht vom österreichischen Gletscherkataster war eine große Hilfe bei Softwareproblemen und Heidi Escher-Vetter las gewohnt sorgfältig Korrektur.

Literatur

- BRUNNER, K. und T. HORST (2007): Eine wiederaufgefundene Karte des Reintals im Zugspitzgebiet aus dem 18. Jahrhundert. *Geographica Helvetica* 35, im Druck.
- DIKICH, A.N. und W. HAGG (2004): Climate driven changes of glacier runoff in the Issyk-Kul basin, Kyrgyzstan. *Z. Gletscherkd. Glazialgeol.* 39, S. 75-86.
- FINSTERWALDER, R. (1951): Die Gletscher der Bayerischen Alpen. *Jahrbuch des Deutschen Alpenvereins 1951, Überbrückungsband der Alpenvereinszeitschrift 1943-1951*, S. 60-66.
- FINSTERWALDER, R. (1981): Zur Höhenänderung der Zugspitzgletscher. *Mitt. d. Geogr. Ges. München* 66: S. 25-30.
- FINSTERWALDER, R. (1992): Die Veränderungen der bayerischen Gletscher im letzten Jahrzehnt (1980-1990). *Mitt. d. Geogr. Ges. München* 77: S. 5-12.
- FINSTERWALDER, R. und H. RENTSCH (1973) Das Verhalten der bayerischen Gletscher in den letzten zwei Jahrzehnten. *Z. Gletscherkd. Glazialgeol.* 9: S. 59-72.
- GLAZIRIN, G. (1985): *Raspredelenije i redjim gornyh lednikov (Verteilung und Regime von Gebirgsgletschern)*. Girdometeoizdat, Leningrad, 109 S.
- HIRTLREITER, G. (1992): Spät- und postglaziale Gletscherschwankungen im Wettersteingebirge und seiner Umgebung. *Münch. Geogr. Abh. Reihe B* 15, 176 S.
- IAHS(ICSI)/UNEP/UNESCO (1989): *World glacier inventory - status 1988*. HAEBERLI, W., BÖSCH, H., SCHERLER, K., ØSTREM, G. und C.C WALLEN (Hrsg.). World Glacier Monitoring Service, Nairobi, 458 S.
- MÜLLER, P. (1988): *Parametrisierung der Gletscher-Klima-Beziehung für die Praxis: Grundlagen und Beispiele*. *Mitteilungen der VAW-ETH Zürich* 95, 228 S.
- PAUL, F., KÄÄB, A., MAISCH, M., KELLENBERGER, T. W. und W. HAEBERLI (2004): Rapid disintegration of Alpine glaciers observed with satellitedata. *Geophysical Research Letters* 31, L21402, doi:10.1029/2004GL020816.

- UNEP (1992): *Glaciers and the environment*. UNEP/GEMS Environmental Library 9. Nairobi, 24 S.
- WALTENBERGER, A. (1882): Die Zugspitze und die Umrandungen des Plattach- und Höllentalferners. Karte 1:5.000, In: *Orographie des Wettersteingebirges und der Mieminger Kette*. Augsburg.
- WALTENBERGER, A. (1887): Ueber topographische Messungen und Terrainaufnahmen im Gebirge. Mit besonderer Bezugnahme auf die Mappirungs-Arbeiten im Berchtesgadener Gebiet. *Z. DuÖAV* 17, S. 99-127.