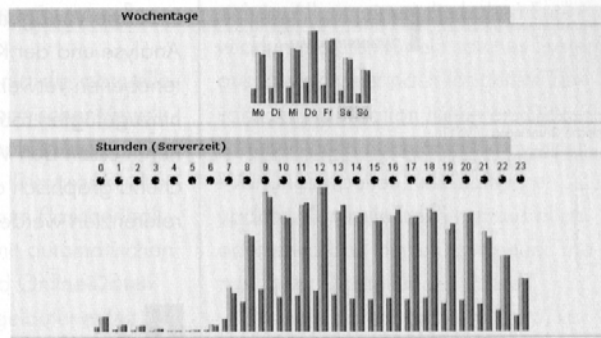


Abb. 4:  
Zugriffe auf  
„LWD Online Maps“  
im Februar



206

Vorlagen für eine automationsgestützte kartographische Visualisierung im Internet konnte der Prototyp im Winter 2002/2003 online geschaltet werden. Während der gesamten Wintersaison wurden anhand der Schneehöhenkarten die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Aktualisierung überprüft.

Die große Anzahl der Zugriffe von unterschiedlichen Nutzern, insbesondere zum Wochenende hin, beweist, dass reges Interesse an aktuellen Darstellungen zur Situation der Schneedecke in Tirol nicht nur seitens der Entscheidungsträger, sondern auch der Wintersportler besteht (siehe Abb. 4).

Neben den Schneehöhenkarten sollen in Zukunft noch weitere Wetterfaktoren, die einen Einfluss auf die Schneedecke ausüben, visualisiert werden. Visualisierungen von Wind nach Stärke und Richtung sowie Lufttemperatur zu unterschiedlichen Zeitpunkten sind in Vorbereitung.

#### Literatur

Grünreich, D. (1996): Der Standort der Kartographie im multimedialen Umfeld. In: Mayer, F., Kriz, K. (Hrsg.): Kartographie im multimedialen Umfeld. 5. Wiener Symposium, Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 8, Institut für Geographie der Universität Wien, Wien 1996.

Hake, G., Grünreich, D., Meng, L. (2002): Kartographie. 8. Aufl., Walter de Gruyter, Berlin-New York.

Hurni, L., Neumann, A., Winter, A. M. (2001): Aktuelle Webtechniken und deren Anwendung in der thematischen Kartographie und Hochgebirgskartographie. In: Buzin, R., Wintges, Th. (Hrsg.): Kartographie 2001 – multidisziplinär und multidimensional. Beiträge zum 50. Deutschen Kartographentag. Wichmann, Heidelberg 2001.

Anschrift der Verfasserin: Michaela Kinberger, Institut für Geographie und Regionalforschung, Kartographie und Geoinformation, Universität Wien, Universitätsstraße 7, A-1010 Wien, kinb@atlas.gis.univie.ac.at

## Glaziale und periglaziale Prozesse: Von der statischen zur dynamischen Visualisierung

Andreas Käab, Yvonne Isakowski, Frank Paul, Andreas Neumann, Zürich;  
Ramona Winter, Gollm

### 1 Einleitung

Viele Prozesse im Hochgebirge stehen nicht in einem statischen, sondern vielmehr in einem dynamischen Gleichgewicht. Solche Gleichgewichtszustände passen sich Umweltveränderungen laufend an. Massentransporte und andere Veränderungen sind die natürliche Folge. Hochgebirgskartographie befasst sich also mit einem höchst dynamischen und nur selten statischen Raum.

Wegen ihrer Nähe zum Schmelzpunkt reagieren hochalpine Eisvorkommen besonders sensibel auf Umwelteinflüsse. Gletscher und ihr derzeitiger massiver Rückzug zählen daher zu den deutlichsten Indikatoren der fortschreitenden atmosphärischen Erwärmung (Paul et al., 2003). Die jüngsten welt-

weiten Gletscherkatastrophen und -gefahren haben auf dramatische Weise verdeutlicht, wie empfindlich und dynamisch hochalpine Prozesssysteme sind (Käab et al., 2003 b).

Die involvierten, thermodynamisch gekoppelten Prozesse sind sowohl räumlich wie auch zeitlich äußerst komplex. Die Exploration und Analyse entsprechender multidimensionaler Daten (näheres dazu unter Kapitel 3 und 4) ist häufig selbst für Fachleute schwierig. Moderner Hochgebirgskartographie kommt dabei eine Schlüsselrolle als Bindeglied zwischen der reinen Datenerfassung und -modellierung einerseits und menschlichem Verstehen und Handeln andererseits zu (Hurni/Haeblerling, 2002).

In diesem Beitrag soll ein kurzer Überblick über glaziale und periglaziale Prozesse gegeben und es sollen

die zu ihrer Erforschung eingesetzten Daten charakterisiert werden. Ein besonderer Augenmerk gilt dann ausgewählten Beispielen zur dynamischen Visualisierung komplexer, raum-zeitlicher Vorgänge. Darauf aufbauend skizzieren wir Anforderungen an zukünftige glaziologische Informationssysteme.

## 2 Gletscher und Permafrost

Die bekanntesten glazialen Prozesssysteme sind zweifellos Gletscher. Die Veränderung der Oberflächengeometrie eines Gletschers – bis hin zu seinem Vorstoß bzw. Rückzug – ist eine Funktion der lokalen Massenbilanz und des Eisfließens. Die in der Hochgebirgskartographie häufig dargestellten Höhenänderungen von Gletschern sind also das Ergebnis dynamischer Vorgänge (dreidimensionales Eisfließen) und klimatischer Einflüsse (Eisschmelze und -zuwachs). Das Verständnis der resultierenden Geometrieänderungen in Lage und Höhe wird durch die Darstellung jener maßgeblich beitragenden Terme wesentlich verbessert (siehe Kap. 4.1 und 4.3; Käab, 1998).

Ganzjährig gefrorenes Lockermaterial kann bei ausreichender Neigung kohärent kriechen und mit so genannten Blockgletschern auffällige, Lavaströmen nicht unähnliche Landschaftselemente bilden. Diese in trocken-kalten Gebirgsregionen verbreiteten Formen sind wesentlich durch ihre räumliche Kinematik definiert (Käab et al., 2003a). Auf Grund ihrer Materialeigenschaften kriechen Blockgletscher

mit Geschwindigkeiten von wenigen Zentimetern bis zu wenigen Metern pro Jahr. Diese geringen Veränderungs-raten stellen ein bei der Visualisierung des Phänomens besonders zu beachtendes Merkmal dar (siehe Kap. 4.1; Käab, 1998).

Glaziale und periglaziale Seen liegen auf Gletschern (supraglazial), werden von ihnen gestaut (randglazial), bilden sich bei Gletscherrückzug in Zungenbecken oder auf Moränenbastionen (proglazial) oder befinden sich in sonstigen von Gletschern und Permafrost beeinflussten Zonen (periglazial; Haeblerli, 1992). Auffällige periglaziale Seen sind zum Beispiel Thermokarstseen, die sich kontinuierlich in Toteis und dauernd gefrorenes Lockermaterial schmelzen (siehe auch Kapitel 4.2). All diese Seen unterliegen exogenen Schwankungen, weil sich die einwirkenden Gletscher und Permafrostvorkommen ständig verändern. Der Kontakt der Seen zu Eis bedingt oft thermisch getriebene, endogene Variationen. Gletscherseen bzw. deren Ausbrüche von bis zu vielen Millionen Kubikmetern Wasser zählen zu den weitreichendsten Naturgefahren im Hochgebirge (Käab et al., 2003 b).

In den Visualisierungsbeispielen dieses Beitrages wird besonders auf obige Phänomene eingegangen. Das Hochgebirge wird jedoch noch von einer Reihe anderer glazialer und periglazialer Prozesse geprägt. Fels-sackungen und -rutschungen im Gletscherumfeld zum Beispiel können entstehen, wenn ein Gletscherrückzug die Talflanken entlastet (Käab/Vollmer, 2001). Permafrost kann ein entscheidender Faktor bei der Entstehung von Felsstürzen und Murgängen sein (Haeblerli et al., 1997).

## 3 Luft- und weltraumgestützte Datengewinnung

Neben den Entwicklungen in der Geoinformatik haben vor allem die Fortschritte in der digitalen Datengewinnung der modernen Glaziologie und Hochgebirgskartographie entscheidende Impulse gegeben. Wegen ihrer Flächenhaftigkeit sind dabei luft- und weltraumgestützte Methoden für die Hochgebirgskartographie von besonderer Bedeutung.

Digitale Höhenmodelle (DHM) stellen in der Regel den wichtigsten Basisdatensatz für kartographische Visualisierungen im Gebirge dar (z. B. Paul et al., 2003; Wipf/Sieber, 2003). Nur von den wenigsten Gebieten der Erde liegen DHMs in ausreichender Qualität bereits vor. Flugzeuggestützte DHMs werden heute mittels digitaler Photogrammetrie, Laserscanning oder InSAR (interferometric synthetic aperture radar) erzeugt. Unter diesen Verfahren dürfte Laserscanning die höchste DHM-Qualität liefern. Es beinhaltet jedoch, im Gegensatz zur Photogrammetrie, keine Bildinformation, wie sie für viele glaziologische Interpretationen und quantitative Analysen nötig ist.

Viele Hochgebirgsregionen der Welt sind wegen ihrer Abgeschiedenheit und/oder Lage in politischen Krisengebieten für boden- oder luftgestützte Fernerkundung nur schwer zugänglich. Satellitenverfahren sind hier das Mittel der Wahl. DHMs können unter anderem aus optischen Stereo-Satellitendaten erzeugt werden. Eine der modernsten Instrumente für diese Arbeiten ist der Sensor ASTER (Käab, 2002; Kamp et al., 2003). Eine ähnliche

DHM-Qualität liefert satellitengestütztes InSAR, im Unterschied zu optischen Verfahren aber unabhängig von Tageszeit und Bewölkung.

Mittels obiger Verfahren werden DHMs erzeugt. Die Differenzen zwischen multitemporalen DHMs geben dann Aufschluss über Geometrieänderungen der beobachteten Objekte – ein wichtiger Indikator für kinematische, glaziale und periglaziale Prozesse.

Einen wesentlichen Schritt hin zum besseren Verständnis der raum-zeitlichen Vorgänge ermöglicht die Messung von Geländeverschiebungen, sind doch Höhenänderungen unter anderem gerade die Folge solcher Fließ-, Kriech- oder Rutschprozesse. Neben punktuellen terrestrischen Verfahren kommen hier vermehrt Fernerkundungsmethoden zum Einsatz. Dabei ergänzen sich optische und Mikrowellenverfahren vorzüglich. Korrelation zwischen wiederholten Luft- oder Satellitenbildern erlaubt die Messung der Verschiebung korrespondierender Bildelemente. So können Geschwindigkeitsfelder von Gletschern und Blockgletschern flächenhaft bestimmt werden (Käab, 2002; Käab/Vollmer, 2001). Mittels DInSAR (differenzial InSAR) lassen sich Geländeverschiebungen in Blickrichtung des Sensors mit Millimetergenauigkeit erfassen (Strozzi et al., 2002; Strozzi et al., 2003).

Die oben aufgeführten Fernerkundungsdaten beschreiben raum-zeitliche geometrische Eigenschaften der untersuchten Objekte. Eine große Rolle in der Glaziologie spielt aber auch die Analyse spektraler Information. Gerade die Verfügbarkeit multispektraler Satellitensysteme hat wertvolle Impulse bei der Gletscherbeobachtung und ihrer Automatisierung gegeben (Käab et al.,

2002; Paul et al., 2002; Paul et al., 2003).

## 4 Dynamische Visualisierung

Will Kartographie dem Hochgebirge gerecht werden, muss sie sich gerade auch mit der Visualisierung komplexer, raum-zeitlich variabler Vorgänge befassen (Hurni et al., 2000). Mit zunehmender Komplexität der abzubildenden Prozesse werden die Darstellungstechniken und ihre Verständlichkeit wesentlich eingeschränkt: Reine Geometrieänderungen sind vielfältig darstellbar, z. B. mit Isolinen, Farbkodierungen, Symbolen variabler Größe usw. Deutlich weniger Methoden stehen zur Verfügung, um 2- oder 3-dimensionale Bewegungen abzubilden (Käab, 1998). Der Natur dieser Prozesse entsprechend, bieten dynamische Visualisierungstechniken hier die weitaus größten Möglichkeiten zu

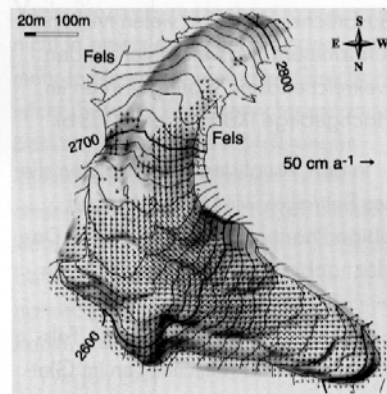


Abb. 1: Horizontale Oberflächengeschwindigkeiten 1981 bis 1994 auf dem Blockgletscher im Val Muragl, Oberengadin, Schweizer Alpen. Die Verschiebungsbeträge von bis zu mehreren Dezimetern pro Jahr wurden aus multitemporalen Luftbildern digital gemessen.

einem echten Gewinn in der Verständlichkeit. Im Folgenden gehen wir deshalb auf drei verschiedene Studien zur dynamischen Visualisierung von glazialen und periglazialen Prozessen näher ein.

Die hier vorgestellten Verfahren sind der beschreibenden, geometrisch basierten Animation zuzurechnen: Die Grundlagen solcher Visualisierungen sind reale Daten, die einen Prozess beschreiben, wie zum Beispiel Luft- und Satellitenbilder, und Messungen aus diesen. In physikalisch basierten Animationen werden im Gegensatz dazu nicht reale Vorgänge wiedergegeben, sondern virtuelle Prozesse mittels physikalischer Regeln simuliert (z.B. Biegger et al., 2002). (Vergleiche Dransch, 1997; Buziek et al., 2000)

### 4.1 Bildüberlagerung

Von großer technischer Einfachheit und zugleich erstaunlich hohem Informationsgehalt ist das sequenzielle Überlagern von Luft- oder Satellitenaufnahmen. Diverse Programme bieten die Möglichkeit eine Anzahl von Bildern mit steuerbarer Geschwindigkeit am Bildschirm zu wechseln. Für Internetanimationen eignen sich besonders animierte GIFs. Auch sie können in vielen Bildverarbeitungsprogrammen erstellt werden. Genaue Georeferenzierung und Geländekorrektur sind entscheidende Qualitätsanforderungen an die dabei verwendeten Orthobilder. Fehler im DHM, das der Orthoprojektion zu Grunde liegt, werden in Bildverzerrungen abgebildet. Diese können zwar zur Aufdeckung von DHM-Fehlern nützlich sein, sind in unserem Falle aber unerwünscht, überlagern sie doch die tatsächlichen Geländeänderungen.

In statischen Visualisierungen werden horizontale Oberflächenverschiebungen häufig durch Vektorfelder (Abb. 1), Stromlinien oder verwandte Formen dargestellt. Deutlich mehr graphische Formen stehen zur Abbildung nur einer Vektorkomponente zur Verfügung (z. B. Geschwindigkeit, Richtung; Käab, 1998). All diese Techniken erlauben aber selbst einer Fachperson oft nicht ein flächenhaftes Bewegungsfeld umfassend zu verstehen. Das schnelle Wechseln von multitemporalen Orthophotos am Bildschirm kann jedoch die Interpretation des untersuchten Bewegungsprozesses wesentlich erleichtern (Abb. 2). Die im Kapitel 3 angesprochenen quantitativen Messverfahren können dann viel gezielter ausgewählt und angewendet werden.

Ähnliches gilt zum Beispiel zur Beobachtung von Gletscherveränderungen mittels Satellitenbildern. Die Überlagerung von vektorisierten multitemporalen Gletscherrändern ist eine gebräuchliche Technik zur statischen Visualisierung solcher Gletscherveränderungen (siehe Abb. 2 und 3 in Paul et al., 2003). Die Erfassung der digitalen Gletscherränder beinhaltet jedoch bereits thematische und graphische Generalisierungen. Das schnelle Wechseln multitemporaler Satellitenbilder am Bildschirm dagegen stellt eine komplexe Vielzahl glazialer Prozesse dar (z. B. Veränderung der Gletscherfläche, Schneegrenzveränderung, Spaltenbildung, Eisbewegung, Vegetationswandel) und überlässt die Interpretation dem Betrachter (Abb. 3).

Sequenzielle Bildüberlagerung ist nicht auf die Abfolge von Orthobildern beschränkt. Ebenso gut können auch perspektivische Ansichten identischer Standpunkte abgewechselt werden (Abb. 3). Und schließlich lassen

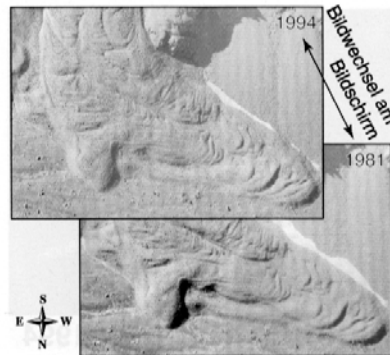


Abb. 2: Das schnelle Wechseln zweier Orthophotos (1981 und 1994) des Blockgletschers im Val Muragl am Bildschirm ermöglicht ein umfassenderes Verständnis der Dynamik als die statische Visualisierung Abb. 1 vermag. Luftbilder: Flugdienst / KSL, swisstopo. (<http://www.geo.unizh.ch/~kaeaeb/visualisation.html>).

sich auch thematische Darstellungen in beliebiger Projektion am Bildschirm wechseln bis hin zur Erstellung von Filmsequenzen (Kaufmann/Plösch, 2000; Slupetzky, 2000). Im Gegensatz zu Bild-

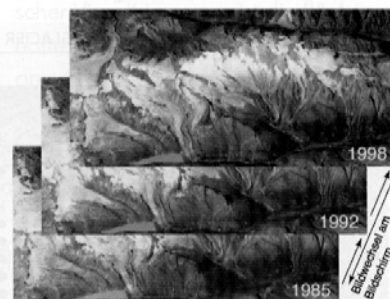


Abb. 3: Drei synthetische Schrägansichten der Mischabelgruppe, Wallis, Schweizer Alpen, aus Landsat TM Satellitenbildern von 1985, 1992 und 1998. Durch schnelles Wechseln der Bilder am Bildschirm wird unter anderem das zeitliche Verhalten der verschiedenen Gletscher deutlich. DHM-Grundlage: DHM25 swisstopo (Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo BA035390). (<http://www.geo.unizh.ch/~kaeaeb/visualisation.html>).

mationen nicht hypothesenfrei, d. h. sie beinhalten eine vorherige Interpretation und Generalisierung durch den Bearbeiter.

## 4.2 Morphing

Eine häufig zur Animation multitemporaler Datensätze verwendete Technik ist das „Morphing“ (Dransch, 1997). Von Winter (2001) wurde sie zur Animation des Wachstums eines Thermokarstsees eingesetzt (Abb. 4; Käab/Haeberli, 2001). Beim Morphing müssen Ausgangs- und Zielobjekt über die gleiche Anzahl Scheitelpunkte verfü-

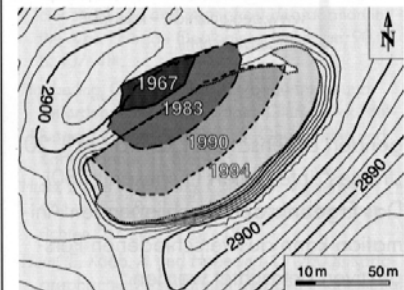


Abb. 4: Statische Visualisierung des Wachstums eines Thermokarstsees seit 1967 im Gebiet Gruben, Wallis, Schweizer Alpen.

gen. Da diese Bedingung in den gemessenen Vektordaten der Entwicklung des Seerandes nicht erfüllt war, musste eine Homogenisierung vorgeschaltet werden: In jedem Datensatz wurde die jeweils längste Teilstrecke zwischen zwei Scheitelpunkten solange iterativ halbiert, bis 100 Scheitelpunkte erreicht waren. Dieses Vorgehen führt zu einer relativ homogenen Verteilung der gleichen Anzahl von Scheitelpunkten in allen Datensätzen. Mittels Morphing wurden dann im Programm SOFT-IMAGE 3D (Version 3.9) für jedes Jahr, d. h. zwischen zwei aufeinander fol-

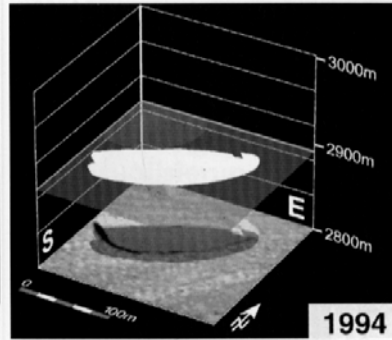
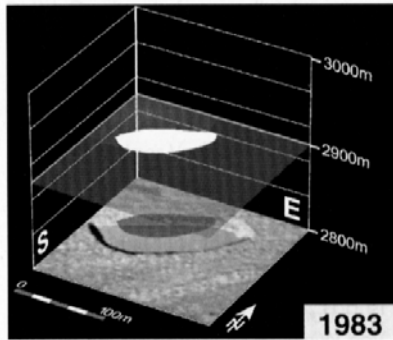


Abb. 5: Zwei Standbilder der Animation von Winter (2001). Das Wachstum eines Sees (Abb. 4) wurde mittels „morphing“ aus jährlich gemessenen Seerändern interpoliert. Neben dem Seerand selber ist auch der schwankende Seespiegel und die Seeprojektion auf ein Luftbild von 1991 animiert. (<http://www.geo.unizh.ch/~kaeae/visualisation.html>).

genden Datensätzen („keyframes“), 20 „frames“ interpoliert (insgesamt 580). Das Ergebnis der abschließenden Animation kann aus verschiedenen Perspektiven betrachtet werden.

Abbildung 5 zeigt zwei Standbilder der Animation in Schrägansicht. Zusätzlich zur Grundrissveränderung des Sees ist auch das Schwanken des Wasserspiegels visualisiert. In die Grundebene der Darstellung wurde ein Orthophoto von 1991 einmontiert und auf dieses ebenfalls der aktuelle Seerand projiziert (Winter, 2001).

### 4.3 Animation

„Scalable Vector Graphics“ (SVG) bietet als Beschreibungssprache zweidimensionaler Vektorgaphiken vielfältige Möglichkeiten, den dynamischen Aspekt der räumlichen, mehrdimensionalen Hochgebirgsprozesse umzusetzen. Dabei spielt die Beziehung zu SMIL, der „Synchronized Multimedia

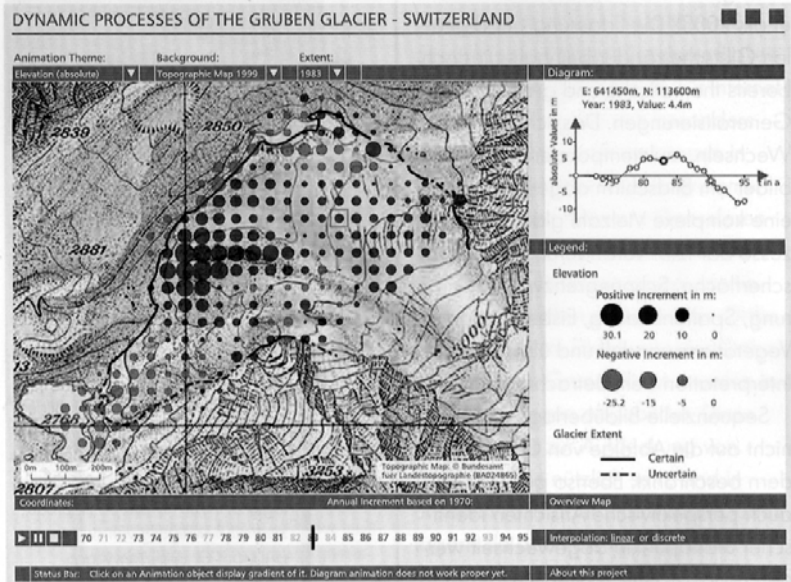
Integration Language“, eine entscheidende Rolle: SMIL stellt SVG umfangreiche Funktionalitäten in der Animation zur Verfügung. Durch das Zusammenspiel beider Sprachen lassen sich vektorbasierte und gleichzeitig animierte Darstellungen generieren.

Die dynamische Darstellung der Eismächtigkeitsänderung eines Gletschers (Grubengletscher) im zweidimensionalen Raum ist auf diese Art im Visualisierungstool von Isakowski (2003) umgesetzt worden. Hier wird durch die Animation von Kreisplotradien und deren farblicher Ausprägung die Änderung der z-Koordinate an

den entsprechenden photogrammetrischen Messpunkten quantitativ sowie qualitativ wiedergegeben. Der Radius verändert dabei seinen Wert im proportionalen Verhältnis zur z-Koordinatendifferenz; die qualitative Wiedergabe erfolgt über die Farbanimation von Blau (Massenzuwachs) zu Rot (Massenabnahme) bzw. umgekehrt (Abb. 6).

Unterschiedliche Betrachtungsmöglichkeiten sind durch die Wiedergabe im absoluten wie auch im relativen Modus gegeben: In der absoluten Darstellung wird der Gletscherstand grundsätzlich mit einem fixen Jahr (1970) verglichen. Ein Vergleich mit dem Jahresstand von 1970 über

Abb. 6: Ausschnitt aus dem Visualisierungstool von Isakowski (2003). Die Änderung der Eismächtigkeit im 2D-Raum wird über die Animation der Kreisplotradien realisiert, wobei deren farbliche Ausprägung Zuwachs bzw. Abnahme in der Masse beschreibt. ([http://www.carto.net/papers/svg/gruben\\_glacier/](http://www.carto.net/papers/svg/gruben_glacier/)).



26 Jahre hinweg kann so vollzogen werden. In der relativen Darstellung wird der Gletscherstand immer mit dem entsprechenden Vorjahr verglichen. Ein „animierbares“ Diagramm (Abb. 7), welches die Änderung der z-Koordinatendifferenz eines beliebigen individuellen Messpunktes in einer Kurve zusammenfasst, ergänzt die Darstellung. Dieses Diagramm wird, abhängig von der Hauptanimation, absolut oder relativ kreiert.

Eine Einordnung des zu Grunde liegenden Kartenausschnitts im übergeordneten Raum, wie es *Haerberling* (1998) verlangt, ist durch eine Übersichtskarte garantiert. Beliebige zuschaltbare Hintergrundthemen, wie topographischer Landeskartenausschnitt 1:25 000 (vgl. Abb. 6) oder ein Infrarot-Orthophoto, ermöglichen den direkten räumlichen Bezug zur Umgebung.

Neben der beschriebenen Animation der Eismächtigkeitsänderung stehen auch dynamische Darstellungen der Oberflächenbewegung und Gletscherausdehnung zur Verfügung, welche das komplexe Prozesssystem des Grubengletschers wahrnehmungsgerecht und entsprechend den natürlichen Vorgängen wiedergeben.

## 5 Vom Einzelobjekt zum Informationssystem

Die Beispiele in diesem Beitrag und an anderen Stellen zeigen deutlich den Gewinn von Animationen zur Darstellung glazialer und periglazialer Prozesse. Der äußerst veränderlichen Natur der Hochgebirge entsprechend und angesichts der immer intensiveren menschlichen Nutzung und zugleich immer deutlicheren Klimaeinflüsse in

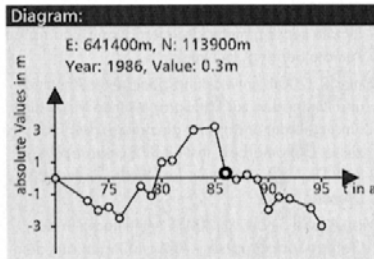


Abb. 7: In einem Kurvendiagramm wird der Verlauf der z-Koordinatendifferenz über die 26 Jahre (1970-95) hinweg zu jedem beliebigen Messpunkt zusammengefasst (Isakowski, 2003).

dieser Zone kommt der adäquaten Visualisierung hochalpiner Phänomene und Vorgänge eine immer wichtigere Rolle zu. Der zunehmende Bedarf nach Verfahren dynamischer Visualisierung in der Hochgebirgskartographie ist daher klar abzusehen.

Die meisten bisher vorliegenden Animationen dieser Art beschränken sich auf Einzelobjekte, wie zum Beispiel einen Gletscher, einen See usw. Aber gerade wegen des hohen potenziellen Informationsgehalts dynamischer Visualisierungen ist die flächenhafte Anwendung solcher Verfahren anzustreben. Gerade für Experten kann die gleichzeitige Verfügbarkeit verschiedener dynamischer Visualisierungs- oder Animationsverfahren von großem Nutzen sein, um die Exploration und das Verständnis multitemporaler Datensätze zu verbessern. Diese Punkte skizzieren zentrale Anforderungen an moderne Visualisierungsmodul innerhalb glaziologischer bzw. hochalpiner Geo-Informationssysteme (vgl. *Haerberling*, 1998). Nicht zuletzt zum Management von Naturgefahren ist der Bedarf nach solchen (Experten-) Systemen, die komplexe raum-zeitliche Informationen zu integrieren und zu visualisieren vermögen, groß.

## Literatur

- Biegger, S., Hoelzle, M., Frei, U. und Nuesch, D. (2002): Bringing glacier simulations to the public using interactive 3D visualisation. Proceedings, 16th International Conference „Environmental Informatics 2002“ of the Expert Committee 4.6 „Informatics for Environmental Protection“, GI Gesellschaft für Informatik, Vienna, S. 611–618.
- Buziek, G., Dransch, D. und Rose, W.-D. (Herausg.) (2000): Dynamische Visualisierungen – Grundlagen und Anwendungsbeispiele für kartographische Animationen. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- Dransch, D. (1997): Computer-Animation in der Kartographie. Theorie und Praxis. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- Haerberli, W. (1992): Zur Stabilität von Moränenseen in hochalpinen Gletschergebieten. Wasser, Energie, Luft, 84(11/12), S. 361–364.
- Haerberli, W., Wegmann, M. und Vonder Mühl, D. (1997): Slope stability problems related to glacier shrinkage and permafrost degradation in the Alps. Eclogae Geologicae Helveticae, 90, S. 407–414.
- Haerberling, C. (1998): Benutzerbedürfnisse und Anforderungen zu neuartigen Gletscherdarstellungen. Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, 11, S. 81–93.
- Humi, L. und Haerberling, C. (2002): Moderne Gebirgskartographie. Kartographische Nachrichten, 2002(3), S. 107–110.
- Humi, L., Kääb, A. und Haerberling, C. (2000): Kartographische Darstellungen glazialer Phänomene. Zeitliche Entwicklung und heutiger Stand. Salzburger Geographische Arbeiten, 36, S. 23–38.
- Isakowski, Y. (2003): Animation mit SVG als Visualisierungsmethode von räumlich-zeitlichen Prozessen in der Glaziologie. Diplomarbeit unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. I. Panajolov (FB Vermessungswesen/Kartographie, HTW Dresden (FH)) und Prof. Dr. L. Humi (Institut für Kartographie, ETH Zürich).

## Schneller am Ziel beim Import von GIS-Daten.

Das Zeichnungsprogramm, das Kartographen auf der ganzen Linie überzeugt:



Mehr unter [www.ocad.com](http://www.ocad.com)

Kääb, A. (1998): Visualisierung glazialer und periglazialer Prozesse: Probleme und Ansätze. *Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie*, 11, S. 94–101.

Kääb, A. (2002): Monitoring high-mountain terrain deformation from air- and spaceborne optical data: examples using digital aerial imagery and ASTER data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57(11–12), S. 39–52.

Kääb, A. und Haeblerli, W. (2001): Evolution of a high-mountain thermokarst lake in the Swiss Alps. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 33(4), S. 385–390.

Kääb, A., Kaufmann, V., Ladstädter, R. und Eiken, T. (2003a): Rock glacier dynamics: implications from high-resolution measurements of surface velocity fields. *Proceedings, 8th International Permafrost Conference*, Zürich, im Druck.

Kääb, A., Paul, F., Maisch, M., Hoelzle, M. und Haeblerli, W. (2002): The new remote sensing derived Swiss glacier inventory: II. First results. *Annals of Glaciology*, 34, S. 362–366.

Kääb, A. und Vollmer, M. (2001): Digitale Photogrammetrie zur Deformationsanalyse von Massenbewegungen im Hochgebirge. *Vermessung Photogrammetrie Kulturtechnik*, 99(8/2001), S. 538–543.

Kääb, A., Wessels, R., Haeblerli, W., Huggel, C., Kargel, J. und Khalsa, S.J.S. (2003b): Rapid ASTER imaging facilitates timely assessment of glacier hazards and disasters. *EOS Transactions, American Geophysical Union*, 84(13), S. 117121.

Kamp, U., Bloch, T. und Olsenholler, J. (2003): Generierung von Digitalen Höhenmodellen aus ASTER-Daten für Hochgebirgsregionen. *Erfahrungen mit der Modellierung von Extremrelief*. *Kartographische Nachrichten*, 2003 (15), S. 224–230.

Kaufmann, V. und Plösch, R. (2000): Reconstruction and visualisation of the retreat of two small cirque glaciers in the Austrian Alps since 1850. In: M. Buchroithner, ed., *High Mountain Cartography 2000*. KB, 18, S. 239–253.

Paul, F., Kääb, A., Maisch, M., Kellenberger, T. und Haeblerli, W. (2002): The new remote sensing derived Swiss glacier inventory: I. Methods. *Annals of Glaciology*, 34, S. 355–361.

Paul, F., Kääb, A., Maisch, M., Kellenberger, T. und Haeblerli, W. (2003): Das neue Schweizer Gletscherinventar 2000: Anwendungen in der Gebirgskartographie. *Kartographische Nachrichten*, 2003 (15), S. 212–217.

Slupetzky, H. (2000): Jeder Gletscher hat seine Eigenheiten. *Mitteilungen des Österreichischen Alpenvereins*, 55(125/2), S. 22–24.

Strozzi, T., Gudmundsson, H. und Wegmüller, U. (2002): Estimation of the surface displacement of Swiss alpine glaciers using satellite radar interferometry. *Proceedings, EARSeL-SIG-Land Ice and Snow workshop*, Berne, Switzerland, im Druck.

Strozzi, T., Kääb, A. und Frauenfelder, R. (2003): Detecting and quantifying mountain permafrost

creep from in-situ, airborne and spaceborne remote sensing methods. *International Journal of Remote Sensing*, im Druck.

Winter, R. (2001): Entwicklung geeigneter Ansätze und Methoden zur kartographischen Visualisierung mehrdimensionaler glaziologischer Prozesse. *Diplomarbeit*, Institut für Kartographie, Prof. Dr. M. Buchroithner, Technische Universität Dresden.

Wipf, A. und Sieber, R. (2003): Multimedia in der Gebirgskartographie – Anwendungen aus dem „Atlas der Schweiz – interaktiv“. *Kartographische Nachrichten*, 2003 (15), S. 217–224.

### Web-links

[http://www.carto.net/papers/svg/gruben\\_glacier](http://www.carto.net/papers/svg/gruben_glacier)  
Y. Isakowski. Interaktives Visualisierungstool der Veränderungen eines Gletschers.

<http://www.geo.unizh.ch/~kaeab/visualisation.html>

A. Kääb, R. Winter. Animation von multitemporalen Orthophotos und Schrägansichten; Animation eines Thermokarstsees.

<http://www.cis.tugraz.at/photo/viktor.kaufmann/animations.html>

V. Kaufmann. Animation eines Gletscherrückzuges.

*Anschriften der Verfasser:* Dr. Andreas Kääb, Frank Paul, Geographisches Institut, Universität Zürich, CH-8057 Zürich, {kaeab,fpaul}@geo.unizh.ch; Yvonne Isakowski, HTW Dresden (FH), jetzt Institut für Kartographie, ETH Hönggerberg, CH-8093 Zürich, isakowski@karto.baug.ethz.ch; Andreas Neumann, Institut für Kartographie, ETH Hönggerberg, CH-8093 Zürich, neumann@karto.baug.ethz.ch; Ramona Winter, TU Dresden, jetzt Institut für Geographie, Universität Potsdam, D-14476 Golm, rwinter@rz.uni-potsdam.de

## Das neue Schweizer Gletscherinventar 2000: Anwendungen in der Gebirgskartographie

Frank Paul, Andreas Kääb, Max Maisch, Tobias Kellenberger, Wilfried Haeblerli; Zürich

### 1 Einleitung

Die Alpen sind ein hochsensibler Lebensraum mit einer vielfältigen Nutzung und raschem Wandel. Der adäquaten kartographischen Darstellung des Alpenen Raumes und seiner Prozesse kommt deshalb seit langer Zeit eine besondere Bedeutung zu (Hurni und Kriz, 2001). Insbesondere die Darstellung von Gletschern und ihren Veränderungen geht auf eine lange kartographische Tradition zurück (Hurni et al., 2000). Durch die heute verfügbaren digitalen Methoden ergibt sich eine Vielzahl von Möglichkeiten für die Visualisierung des Hochgebirgsraumes

(Hurni und Häberling, 2002). Die vergleichsweise schnellen Gletscheränderungen würden sich sehr für eine digitale Nachführung eignen. Dies konnte jedoch bisher für Gletscher auf Grund fehlender digitaler Rohdaten noch nicht vollständig umgesetzt werden (Häberling, 1998). Im Rahmen des Projektes „Schweizer Gletscherinventar 2000“ (SGI 2000) wurden digitale Gletscherumrisse verschiedener Jahre sowie orthorektifizierte Satellitenbilder für die ganze Schweiz erstellt und die Gletscheränderungen mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) visualisiert (Paul, 2003). Die kartographischen Möglichkeiten von GIS sind jedoch ziemlich eingeschränkt