

# Auf dem Weg zu einem vollständigen Gletscher-Inventar

Fernerkundung aus dem All soll Messungen vor Ort ergänzen

Gletscher sind wichtige Indikatoren für den Klimawandel. Aber immer noch ist unser Wissen über die globale Verbreitung von Gletschern und ihre Veränderungen lückenhaft. Die Fernerkundung aus dem All soll nun dabei helfen, diese Lücken zu schliessen.

Lukas Denzler

Der weltweit mit wenigen Ausnahmen beobachtete Rückgang der Gletscher gehört zu den augenfälligsten Veränderungen, die mit dem globalen Temperaturanstieg einhergehen. Entscheidend ist dabei, wie rasch diese Prozesse ablaufen und welche Folgen damit verbunden sind. Seit der Kontroverse um das Abschmelzen der Gletscher im Himalaja, die durch einen ärgerlichen Fehler in einem Kapitel des letzten Berichtes des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ausgelöst wurde, werden die Aussagen aus der Wissenschaft über das Schicksal der Gletscher genau geprüft. Ein fundiertes Bild über den Zustand und die Entwicklung setzt jedoch vor allem zwei Dinge voraus: lange Datenreihen über die Veränderungen der Gletscher sowie genaue Kenntnisse über ihre Verbreitung rund um den Globus.

## Eine einzigartige Datenbank

Anfang September trafen sich in Zermatt Gletscherexperten aus der ganzen Welt. Sie diskutierten über die künftigen Herausforderungen in der Gletscherbeobachtung. Dass dieses Treffen in der Schweiz stattfand, ist kein Zufall. 1894 wurde in Zürich nämlich der Grundstein für die international koordinierte Gletscherbeobachtung gelegt. Seither werden Daten zu Grösse, Längenänderungen, Massenbilanzen und Moränen in der Schweiz gesammelt, aufbereitet und öffentlich zugänglich gemacht. Diese einzigartige Datenbank wird heute durch den World Glacier Monitoring Service (WGMS) an der Universität Zürich betreut. In ihr sind Informationen zu weltweit mehr als 100 000 Gletschern gespeichert; nach Schätzungen entspricht dies der Hälfte aller Gletscher.

Von knapp 300 dieser Gletscher liegen jährliche Daten über die Entwicklung der Massenbilanz vor; 30 dieser kontinuierlichen Datenreihen reichen mehr als drei Jahrzehnte zurück. Das erlaubt eine direkte Abschätzung der Änderungen der Eisreserven der Gletscher. Die jüngste Auswertung zeigt, dass sich der jährliche durchschnittliche Massenverlust seit 2000 im Vergleich zu den beiden vorhergehenden 10-Jahres-Perioden erneut verdoppelt hat.

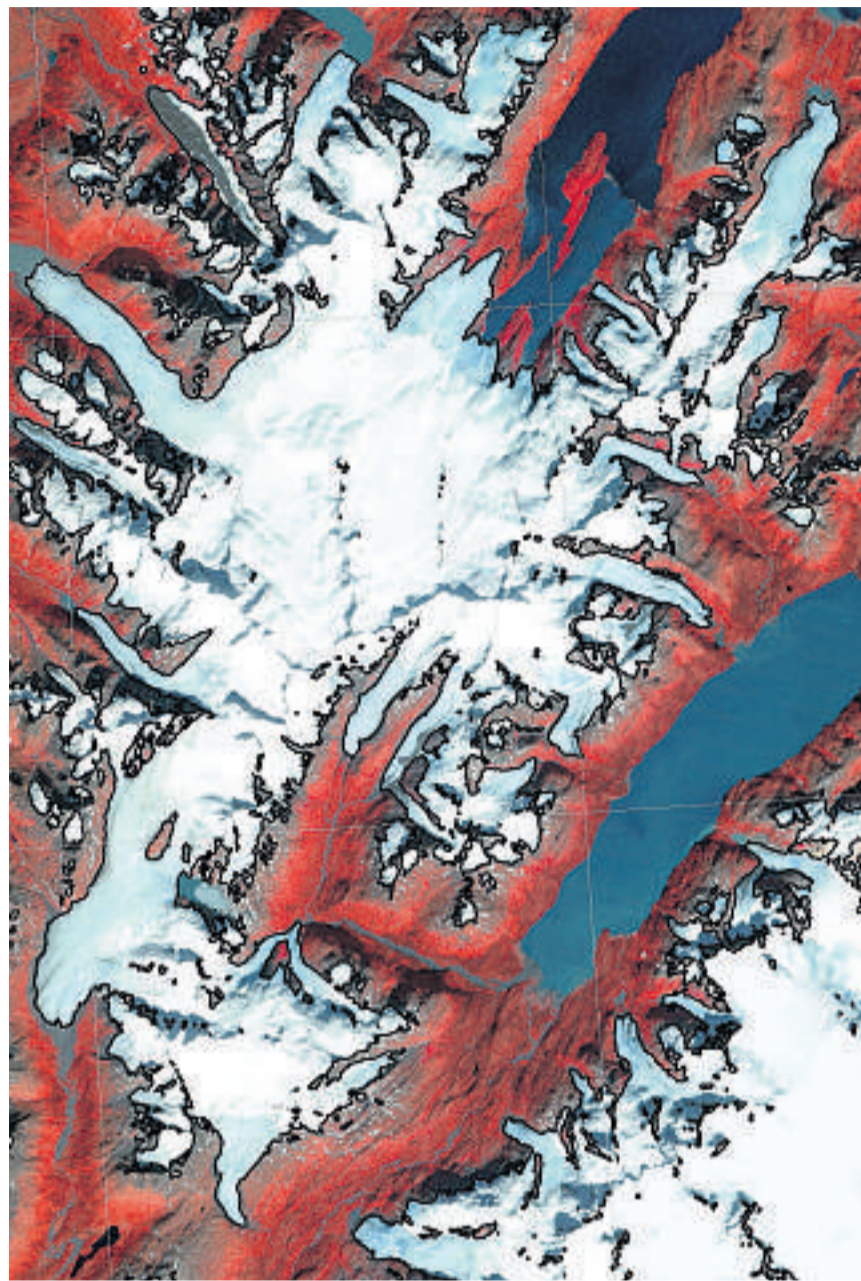
## Messprogramme unter Druck

Für Wilfried Haeberli, der 27 Jahre den WGMS geleitet hat, besteht die Stärke der heutigen Gletscherbeobachtung darin, dass diese verschiedene Methoden integriert. Messungen vor Ort, sogenannte In-situ-Messungen, würden mit modernen Instrumenten aus der Fernerkundung ergänzt. Der Weg dahin sei aber beschwerlich gewesen. Als in den 1980er Jahren die Beobachtung aus dem All mit Satelliten populär geworden sei, hätten deren Exponenten das Blaue vom Himmel versprochen, so Haeberli. Als Folge davon seien die Gletschermessprogramme vor Ort unter Druck geraten, und einige Länder hätten begonnen, ihre langen Beobachtungsreihen aufzugeben.

Geändert hat sich dies erst, als klar wurde, dass eine umfassende Beobachtung aus dem All nicht so einfach ist. Messungen vor Ort sind ausserdem wichtig für das Prozessverständnis sowie die Entwicklung und Überprüfung von Modellen. Und sie sind unentbehrlich, um die Ergebnisse aus der Fernerkundung zu überprüfen.

## Vorzüge der Fernerkundung

Die inzwischen erzielten Fortschritte machten die Fernerkundung jedoch zur Schlüsseltechnologie in der modernen Gletscherbeobachtung, sagt Haeberli. Dazu beigetragen hat insbesondere auch das Projekt GlobGlacier der Europäischen Raumfahrtbehörde (ESA), das laut Vertretern der ESA in den nächsten Jahren im Rahmen der Klimawandel-Initiative der Raumfahrtbehörde weitergeführt wird. Ein wichtiges Ziel ist es, vorhandene Lücken in dem in den 1970er Jahren initiierten und weitgehend auf Luftbildern basierenden



Die mit einem Satelliten gemachte Falschfarbenaufnahme (Rot ist Vegetation) erlaubt es, die Grenzen der Gletscher zu rekonstruieren.

GLOWIS.USGS.GOV

Welt-Gletscher-Inventar zu schliessen, das – ebenso wie der WGMS – zum globalen Klimabeobachtungssystem (GCOS) der Uno gehört.

Es gebe bis heute keine detaillierte globale Gletscherkarte, sagt Projektleiter Frank Paul von der Universität Zürich. Nur schlecht dokumentiert seien etwa Alaska, die kanadische Arktis,

die Gletscher und Eiskappen rund um den grönländischen Eisschild, Zentralasien sowie die Südhalbkugel. Für einige dieser Regionen sowie für einige von besonderem Interesse wurden nun die Umrisse der Gletscher auf der Basis von Satellitendaten kartiert. Somit seien zwar immer noch nicht alle Gletscher der Erde erfasst, sagt Paul. Die Anzahl

der aus dem All dokumentierten Gletscher werde aber um rund 25 000 steigen. Damit dürften dann insgesamt immerhin etwa zwei Drittel der Gletscher der Erde erfasst sein.

Im Rahmen von GlobGlacier wurden weitere Fragestellungen bearbeitet. So ist es schwierig, auf Satellitenbildern die Gletscher zu kartieren, wenn noch Schnee liegt. In einigen Regionen der Erde kann es mehrere Jahre dauern, bis brauchbare Satellitenaufnahmen vom Ende der Schneeschmelze vorliegen. Weitere Teilprojekte beschäftigten sich mit der Herstellung von digitalen Höhenmodellen. Diese bilden die Basis, um beispielsweise die zeitliche Veränderung der Gletscheroberfläche und damit den Verlust oder Zuwachs an Eis zu erfassen.

Über den gesamten Eisvorrat der Gletscher, der etwa für einen potenziellen Anstieg des Meeresspiegels relevant ist, lassen sich über Satellitendaten direkt aber keine Aussagen machen. Eine Verbesserung der Grundlagen wird hier unter anderem über den WGMS angestrebt. So sei in Zermatt vereinbart worden, künftig auch Informationen zur Dicke der Gletscher zu erfassen, sagt Michael Zemp, der seit Mai Direktor des WGMS ist. Solche Informationen können durch Bohrungen im Eis oder durch Radarmessungen auf dem Gletscher gewonnen werden. Damit sollen künftig bessere Daten zur Abschätzung des globalen Eisvolumens zur Verfügung stehen.

## Freiwilliges Netzwerk

Das Netzwerk des WGMS beruht auf einer freiwilligen Mitarbeit von Gletscherspezialisten aus 30 Ländern. Der direkte Kontakt zu den nationalen Korrespondenten und lokalen Beobachtern sei deshalb sehr wichtig, sagt Zemp. Diesem Zweck hat auch das Treffen in Zermatt gedient. Entscheidend ist für Zemp, dass der WGMS von einer Universität aus koordiniert wird. Damit sei die Nähe zur Forschung und zu neuen Methoden gewährleistet. Die Finanzierung des renommierten Datenzentrums ist gesichert, seitdem der Bundesrat 2008 die dafür benötigten Mittel bewilligt hat – als Schweizer Beitrag zum globalen Klimabeobachtungssystem der Vereinten Nationen.

# Das Rätsel der Linkshändigkeit

Vermutlich benutzten schon frühe Menschenartige bevorzugt die rechte Hand

Die meisten Menschen haben eine dominante rechte Hand. Linkshänder sind in der Minderheit. Das war in der Evolution des Menschen wahrscheinlich schon immer so.

Manfred Reitz

In einer Welt von Rechtshändern haben Linkshänder einige Nachteile zu ertragen. Werkzeuge und Alltagsgegenstände werden meist für den Gebrauch mit der rechten Hand konstruiert. Jeder Rechtshänder weiss, wie schwierig es ist, eine Schere mit der linken Hand zu führen. Das liegt nicht nur an der Feinmotorik, sondern auch an der rechtshändig ausgelegten Form vieler Scheren. Für Linkshänder, die etwa 10 Prozent der Menschheit ausmachen, gehören solche Probleme zum Alltag. Und das war vermutlich schon immer so.

## Frühe Bevorzugung

Untersuchungen an Überresten, die von frühen Hominiden stammen, zeigen, dass in der Evolution des Menschen Rechtshänder schon früh in der Mehrzahl waren. An Lagerplätzen des Australopithecus, dessen Vertreter vor 4 bis 2 Millionen Jahren in Afrika lebten, kann an Knochenresten von gegessenen Tieren nachgewiesen werden, dass er

diese häufiger mit der rechten Hand bearbeitete. Bei den späteren direkten Vorfahren des modernen Menschen lässt sich demonstrieren, dass komplexe Steinwerkzeuge bevorzugt für die rechte Hand hergestellt wurden. Und auf Zehntausende von Jahren alten Höhlenmalereien werden meist nur linke Hände abgebildet. Es wird vermutet, dass die rechte jeweils zum Zeichnen des Umrisses verwendet wurde.

Ausserdem sind bei fossilen menschlichen Skelettfunden die rechten Oberarm- und Unterarmknochen oft stärker entwickelt als die entsprechenden Knochen des linken Arms, vermutlich durch den bevorzugten Gebrauch des rechten Arms. Diese Beobachtungen gelten als Indizien dafür, dass die frühen Menschen überwiegend Rechtshänder waren und es auch damals nur wenige Linkshänder gab. Dies hat sich über Hunderttausende von Jahren der Evolution so gehalten.

Wie die Vorliebe für eine bestimmte Hand entsteht, ist jedoch nur ansatzweise geklärt. Ein genetischer Einfluss wird vermutet, weil die Linkshändigkeit in Familien gehäuft auftritt. So bekommen Linkshänder laut Statistik etwa doppelt so häufig linkshändige Kinder wie Rechtshänder. Dennoch ist die Gesetzmässigkeit der Vererbung rätselhaft. Dies wird besonders deutlich daran, dass eineiige Zwillinge nicht notwendigerweise die gleiche dominante Hand haben – so kann der eine Rechts-

der andere Linkshänder sein. Nach einer nicht gesicherten Hypothese soll es im menschlichen Genom eine Gruppe von sogenannten «Rechtsverschiebungsgenen» geben, die eine Rechts-handedigkeit garantieren. Sind alle diese Gene aktiv, entwickelt sich ihr Träger zu einem vollständigen Rechtshänder. Sind sie nur teilaktiv, ist ihr Träger kein vollständiger Rechtshänder. Fehlen diese Gene oder sind sie inaktiv, ist der Träger ein vollständiger Linkshänder. Bisher wurden solche Gene aber nicht gefunden.

Forscher nehmen jedoch an, dass Gene, welche die Dominanz der Gehirnhälften beeinflussen, mögliche Kandidaten für die Bestimmung der Händigkeit sind. Denn bei Links- und Rechtshändern sind die beiden Gehirnhälften unterschiedlich ausgeprägt. Eine Körperseite wird jeweils von der gegenüberliegenden Hirnhälfte gesteuert. Deshalb dürfte beim Rechtshänder die linke Seite dominanter sein und beim Linkshänder die rechte.

Bei Männern tritt Linkshändigkeit geringfügig häufiger auf als bei Frauen. Die Ursache kann bis jetzt nicht überzeugend erklärt werden. Vermutlich spielen hormonelle Einflüsse während der vorgeburtlichen Entwicklung eine Rolle. Der männliche Fötus produziert sehr früh schon das Hormon Testosteron, das die Gehirnentwicklung beeinflusst. Beim weiblichen Fötus fehlt dagegen diese frühe Testosteronprodukt-

tion. Tatsächlich gibt es zwischen Männern und Frauen in einzelnen Gehirnarealen nachweisbare Funktionsunterschiede. Es wird diskutiert, dass vielleicht auch die Vorliebe für den Gebrauch der rechten oder linken Hand davon betroffen sein könnte.

## Bei Geburt keine Dominanz

Nach der Geburt ist die Hirnentwicklung noch lange nicht abgeschlossen. So lässt sich beim Säugling in den ersten Wochen auch beobachten, dass er sich noch nicht für eine Hand entschieden hat. Anfangs benutzt er zum Greifen beide Hände und wechselt anschliessend in unterschiedlichen Phasen von der rechten zur linken Hand und wieder zurück. Erst nach etwa einem Jahr zeigt sich, ob er in Zukunft bevorzugt seine rechte oder linke Hand gebrauchen wird. Eltern und Lehrer sollten diese Entscheidung akzeptieren und keine Umgewöhnung erzwingen.

Die unterschiedliche Dominanz der beiden Hirnhälften bei Links- und Rechtshändern gab schon viel Nahrung für Spekulationen. So etwa, dass Linkshänder kreativer und Rechtshänder rationaler sind, weil diese beiden Eigenschaften der jeweiligen Gehirnhälfte zugeschrieben werden. Gut abgesicherte Studien dazu gibt es aber keine. Dies ist ein allgemeines Problem bei der Händigkeitsforschung. Ein Grund dafür mag die fehlende Definition für Links-

händer sein. Einige Forscher berücksichtigen nur links schreibende als solche, andere zählen auch auf rechts geschulte Linkshänder dazu. Zudem wurde in der Forschung Linkshändigkeit lange als Defizit angesehen und nur diesbezüglich erforscht. Wie schwierig eine genaue Definition ist, zeigt auch der fließende Übergang vom Rechtszum Linkshänder, der sich bei zahlreichen meist unbewussten Aktivitäten zeigt. Beim Klatschen etwa schlagen viele Rechtshänder die linke auf die rechte Hand und nicht umgekehrt, wie es bei einer vollständigen Dominanz der rechten Hand zu erwarten wäre.

Tatsächlich gibt es zwischen Rechts- und Linkshändern viele Zwischenstufen mit unterschiedlich guten Fähigkeiten der beiden Hände. Eher selten sind vollständig beidhändige Menschen, die Ambidexter oder Beidhänder. Sie können ihre rechte und ihre linke Hand gleich gut gebrauchen und machen nach Schätzungen höchstens zwei Prozent der Bevölkerung aus. Der Renaissancekünstler Michelangelo konnte offenbar mit beiden Händen perfekt malen. Von ihm wird überliefert, dass er während seiner Arbeit an der Decke der Sixtinischen Kapelle auf dem Rücken lag und mit einem ausgestreckten Arm direkt über seinem Gesichtsfeld malte. Wurde ein Arm müde, wechselte er den Pinsel und fuhr fort. Heute kann niemand erkennen, was Michelangelo mit rechts und was mit links gemalt hat.