

# Gefährdete Speicher aus Schnee und Eis

Wie der Klimawandel den Wasserhaushalt in den Gebirgen verändert

Tiefländer sind auf Wasser aus den Bergen angewiesen. Durch den Klimawandel könnten sich die Zuflussmengen allerdings ändern – Wassermangel wäre die Folge. Besonders betroffen sind jene Weltregionen, die ihr Wasser nur von Gletschern beziehen.

Lukas Denzler

Für viele Menschen in Mitteleuropa war der Klimawandel bisher kaum spürbar. Ins Bewusstsein gelangte er allenfalls während längerer Hitzeperioden wie im Sommer 2003. Trockene Flüsse und versiegende Quellen – plötzlich wurde das Wasser knapp. Gerät der Wasserkreislauf derart durcheinander, kann das dramatische Auswirkungen haben. Denn Wasser stillt nicht nur den Durst der Menschen und hilft bei der Hygiene; in vielen Teilen der Erde ist es auch unabdingbar für die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen. Deshalb soll der Wasserfrage an der Weltklimakonferenz im Dezember in Kopenhagen mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Und Forscher untersuchen, wie der Klimawandel die Wasserversorgung ändert – mit einem Fokus auf die Berggebiete dieser Welt.

## Gebirge als Wasserschlösser

Berge spielen im globalen Wasserkreislauf nämlich eine Schlüsselrolle. An den Gebirgen steigt die Luft auf und kühlt sich ab; dadurch fällt Wasserdampf in Form von Niederschlägen. Tiefe Temperaturen, Schneedecken und kurze Vegetationszeiten führen dazu, dass nur wenig Wasser verdunstet. Dieser Wasserüberschuss speist die Flüsse im Tiefland. Gebirge werden deshalb auch als Wasserschlösser bezeichnet. In der gemässigten Zone tragen sie bezüglich ihrer Fläche rund doppelt so viel zur Wassermenge der Flüsse bei wie das Flachland, sagt Daniel Viveroli vom Oeschger Centre, dem Kompetenzzentrum für Klimaforschung an der Universität Bern. In trockenen Regionen könne ihr Beitrag gar auf über 90 Prozent ansteigen.

Nun aber ist diese zentrale Rolle der Berge durch den Klimawandel bedroht, der Berggebiete erwiesenermassen besonders stark betrifft. Im Herbst haben sich in Göschenen ein Dutzend Experten aus der ganzen Welt getroffen, um über die zu erwartenden Veränderungen zu diskutieren. Sie betonten, dass neben den jährlichen Abflussmengen unbedingt auch die saisonale Verfügbarkeit des Wassers berücksichtigt werden muss. Hier spielen vor allem Schnee und Eis mit ihrer Speicherwirkung eine wichtige Rolle. Im Frühling führt die Schneeschmelze zu hohen Abflüssen ins Tiefland. In den Sommermonaten sorgt hingegen das Schmelzen von Gletschereis für einen stetigen Abfluss.

## Wasserreicher Alpenraum

Das lässt sich gut am Beispiel des Rheins illustrieren: Die Fläche des Einzugsgebietes bis Basel umfasst lediglich 21 Prozent des gesamten Rhein-Einzugsgebietes. Im Jahresmittel trägt sie aber 47 Prozent zum Gesamtfluss ins Meer bei. Im Sommer stammen sogar über 60 Prozent des Wassers aus dem Alpenraum. Am wichtigsten sind dabei Schnee und Regen; Gletscher liefern übers Jahr lediglich etwa 1 Prozent des Abflusses. In den Sommermonaten steigt ihr Anteil aber deutlich an.

Die Rhone führte im Hitzesommer 2003 im Oberwallis aufgrund der starken Gletscherschmelze sogar mehr Wasser als in normalen Jahren. Dieser Effekt wird aber nur beschränkt andauern. Nach einem vorübergehenden Überschuss werden die Mengen unter die heutigen Werte sinken. Der Wendepunkt dürfte bei den meisten Gletschern in wenigen Jahrzehnten erreicht sein, wie Matthias Huss, der heute an der Universität Freiburg tätig ist, im Rahmen seiner Untersuchung an der ETH Zürich gezeigt hat. Bei kleinen Gletschern ist schon heute eine Ab-

nahme des Abflusses festzustellen. Beim grossen Aletschgletscher dauert es dagegen noch etwa 70 Jahre.

Trotz Gletscherschmelze und Klimawandel wird der Alpenraum dem Tiefland nach den heutigen Kenntnissen auch in Zukunft reichlich Wasser zur Verfügung stellen. Schnee und Regen werden weiterhin fallen. In trockenen Perioden dürfte es bei der Wasserzuteilung jedoch vermehrt zu Konflikten kommen. Laut einer Studie der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon muss in der Schweiz auf einem Viertel der landwirtschaftlichen Fläche bereits heute mit längeren Trockenperioden gerechnet werden. Damit steigt der Druck auf Gewässer und Grundwasser. Dennoch muss weiterhin gewährleistet sein, dass in Bächen und Flüssen stets ausreichend Wasser fliesst. Nur so können diese ihre wichtigen ökologischen Funktionen erfüllen.

## Am Tropf des Indus

Nach Berechnungen von Viveroli leben im Einzugsgebiet der grossen Alpenflüsse rund 150 Millionen Menschen; berücksichtigt sind dabei auch die Nebenflüsse, die nicht im Alpenraum entspringen. Im Vergleich dazu liefert die Himalaja-Region Wasser für über 1,3 Milliarden Menschen in den bevölkerungsreichen Ländern China, Indien, Bangladesch und Pakistan. David Archer, Berater und Gastwissenschaftler an der Universität Newcastle, berichtete in Göschenen über Pakistan, das in hohem Masse vom Indus abhängig ist. Die Nutzung des Wassers des Indus und seiner Nebenflüsse – die Oberläufe liegen zu einem beträchtlichen Teil in Indien – wird seit 1960 durch einen Vertrag zwischen Pakistan und Indien geregelt.

In Pakistan hängen 80 Prozent des kultivierten Landes vom Wasser des Indus ab; in einem normalen Jahr wer-

den drei Viertel davon auf Felder und in Siedlungsgebiete umgeleitet, dank einem gigantischen Bewässerungssystem mit grossen Stauseen und Kanälen. Ökologische Aspekte spielten bei der Wasserbewirtschaftung laut Archer bisher kaum eine Rolle. Der Fluss wird primär als Wasserlieferant betrachtet, nicht als wichtiger Teil des Ökosystems. Wasser, das von den Menschen nicht genutzt wird und ins Arabische Meer abfließt, gilt als «verloren».

Auch in Pakistan ist das Schmelzwasser von Schnee und Gletschern zentral: Es liefert rund 80 Prozent des abfließenden Wassers. Doch was die Gletscher betrifft, könnte das Land mit einem blauen Auge davonkommen. Im Unterschied zu anderen Regionen im Himalaja scheinen die Gletscher im westlichen Teil, dem Karakorum, derzeit nämlich nicht generell zurückzugehen. Zum einen profitieren diese Gebiete von feuchten Westwinden im Winter; die Niederschläge haben zugenommen, und die Sommertemperaturen sind leicht gesunken. Zum anderen sind die Gletscher oft von Schutt bedeckt, was deren Abschmelzen bremst. Michael Zemp vom World Glacier Monitoring Service an der Universität Zürich bestätigt diese weltweit eher spezielle Situation im westlichen Himalaja. Er betont aber, die Informationen aus dieser Region seien insgesamt sehr lückenhaft.

## Anpassung in den Anden

Ernster ist die Situation in den tropischen Anden, jenem Gebirgsgebiet in Südamerika, das in der tropischen Klimazone liegt. Auch hier – in Peru, Ecuador und Bolivien – gibt es viele Gletscher. Davon berichtete in Göschenen Mathias Vuille von der Universität in Albany an der Ostküste der USA. Der Wissenschaftler nahm zehn Gletscher in Peru genauer unter die Lupe. Tropische

Gletscher seien besonders empfindlich und viele der kleinen Gletscher verschwänden in nächster Zeit, sagt Vuille. Obwohl in der feuchten Jahreszeit reichlich Niederschläge fallen, bleibt der Schnee in den nicht vergletscherten Gebieten infolge der hohen Sonneneinstrahlung nur kurze Zeit liegen. Die Speicherung und saisonale Umverteilung des Wassers erfolgt somit einzig über die Gletscher.

Für die mehrheitlich arme Bevölkerung in den hochgelegenen Gebieten ist das Gletscherwasser in der trockenen Jahreszeit deshalb essenziell. Derzeit werden mit Unterstützung der Weltbank Strategien erarbeitet, wie sich die Gesellschaft dort an die neuen Verhältnisse anpassen kann. Eine Möglichkeit wäre, die Speicherfunktion der Gletscher durch Stauseen zu ersetzen. Doch das kostet viel Geld, und ausserdem bringen solch tiefgreifende Eingriffe oft eine ganze Reihe von ökologischen und sozialen Folgeproblemen mit sich.

## Zu wenig Messdaten

Neben den Fallstudien aus unterschiedlichen Weltregionen beschäftigen sich die Forscher in Göschenen auch mit der Frage, wie sich die Ergebnisse aus der Klimaforschung für das Management der Wasserressourcen besser nutzbar machen liessen. Der Workshop habe unter anderem gezeigt, dass die heutigen globalen Klimamodelle für die Bewirtschaftung der Wasserressourcen nicht brauchbar seien, sagt Viveroli. Dazu müssten sie zuerst auf einzelne Gebirgsregionen heruntergebrochen werden. Dies könne beispielsweise durch die Koppelung mit regionalen Modellen oder über statistische Verfahren erfolgen. Hierfür seien jedoch zusätzliche Messdaten und genauere Messnetze aus höheren Lagen erforderlich – zum Beispiel zur Schneemenge.

Die Entwicklung geht jedoch in eine andere Richtung: Mit Sorge betrachten die Forscher die Tendenz, den Betrieb bestehender Messnetze in Gebirgsregionen aus finanziellen Gründen zurückzuführen. Dabei sind gerade Veränderungen der Schneedecke durch den Klimawandel in höheren Lagen – und deren quantitative Auswirkungen auf die Abflussmengen – bisher noch kaum untersucht worden. Kopfzerbrechen bereitet den Forschern auch, in welchem Masse sich eine veränderte Vegetation und Landnutzung auf den Wasserhaushalt auswirken könnte. Unbestritten ist hingegen, dass sich die schon heute nicht einfach zu lösenden Probleme rund um die Nutzung der Wasserressourcen durch den Klimawandel weiter verschärfen werden.

## Beschleunigter Klimawandel

Ein Zwischenbericht für Politiker

Spe. · Der vierte Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) aus dem Jahr 2007 ist das Referenzwerk der Klimawissenschaftler. Was dort drinsteht, ist das Ergebnis eines langwierigen Prozesses, bei dem Hunderte von Experten das gesammelte Wissen über den Klimawandel und dessen Folgen zusammentrugen und bewerteten. Einen solchen Kraftakt unternimmt man nicht alle Tage. Mit dem nächsten Bericht wird erst 2013 gerechnet – lange nach Kopenhagen. Um die politischen Entscheidungsträger auf den neuesten Stand der Klimaforschung zu bringen, haben 26 führende Wissenschaftler, unter ihnen Nicolas Gruber von der ETH Zürich, einen Zwischenbericht erstellt, der die wichtigsten Erkenntnisse seit 2007 zusammenfasst. Ihr Fazit lautet: Der Klimawandel vollzieht sich schneller als erwartet.<sup>1</sup>

## Schmelzendes Meereis

Besonders deutlich wird das in der Arktis. Dort hat die spätsommerliche Eisbedeckung des Meeres seit 1979 um 11 Prozent pro Dekade abgenommen. Keines der im IPCC-Bericht untersuchten Modelle ist in der Lage, diesen rasanten Rückzug des Eises zu reproduzieren. Die Forscher kommen deshalb zum Schluss, dass die Entwicklung fast unweigerlich zu einem eisfreien arktischen Ozean im Sommer führen wird. Davon wären nicht nur die Eisbären betroffen. Auch die globale Temperaturverteilung könnte sich verändern, wenn im arktischen Sommer durch das fehlende Eis weniger Sonnenlicht in den Weltraum reflektiert wird.

Eine Beschleunigung des Klimawandels konstatieren die Forscher auch beim Grönländischen und beim Antarktischen Eisschild. Diese verlören seit Mitte der 1990er Jahre mehr Masse als zuvor und trügen deshalb vermehrt zum Anstieg des Meeresspiegels bei. Dabei spielt nicht nur das Schmelzen der Eisschilde eine Rolle, sondern auch das Abrutschen von Eis ins Meer.

Diese Flussbewegungen der Eisschilde sind mit grossen Unsicherheiten behaftet. Deshalb hatte man sie im letzten IPCC-Bericht bei den Berechnungen des Meeresspiegelanstiegs vernachlässigt. In den Augen der Forscher ist das ein Grund dafür, dass der IPCC-Bericht den von Satelliten gemessenen Anstieg des Meeresspiegels unterschätzt. Die Forscher hinterfragen deshalb auch die Prognose, der Meeresspiegel werde bis Ende des Jahrhunderts um 18 bis 59 Zentimeter steigen. Aufgrund der neuen Erkenntnisse rechnen sie vielmehr mit einem mindestens doppelt so hohen Anstieg, der im Extremfall bis zu 2 Meter betragen könnte.

## Argumente gegen Skeptiker

Ähnliche Zahlen hatte man bereits im Juni in einem Synthesebericht lesen können, der die Ergebnisse einer Klimakonferenz in Kopenhagen zusammenfasste. Der neue Bericht richtet sich jedoch an ein breiteres Publikum. Deshalb setzt er sich auch mit den wichtigsten Argumenten der Klimaskeptiker auseinander. Dabei schiessen die Autoren allerdings über das Ziel hinaus.

Klimaskeptiker stellen den Klimawandel zum Beispiel in Frage, indem sie auf die seit einigen Jahren stagnierenden globalen Temperaturen verweisen. Das Standardargument gegen diesen Einwand lautet, dass kurzzeitige Trends wegen der natürlichen Schwankungen im Klimasystem völlig normal seien. Bei diesem guten Argument hätten es die Autoren des Berichts besser bewenden lassen, findet Jochem Marotzke, einer der Direktoren des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg. Stattdessen versuchen die Autoren anhand von Zehnjahrestrends zu belegen, dass es gar keine Stagnation der globalen Temperatur gibt. Damit lassen sie den wissenschaftlichen Konsens hinter sich, der ein Markenzeichen der IPCC-Berichte ist.

## Ein giftiger Gruss aus der Vergangenheit

H. W. · Schmelzende Gletscher haben nicht nur Auswirkungen auf den Wasserhaushalt. Sie können auch giftige Chemikalien freisetzen, die sich in früheren Zeiten aus der Luft auf dem Eis abgelagert haben. Das haben Forscher der Empa in Dübendorf am Beispiel des Oberaarsees in den Berner Alpen gezeigt.<sup>1</sup> Der See wird gespeist vom Oberaargletscher, der sich seit langem auf dem Rückzug befindet. In ihrer Studie konzentrierten sich die Forscher auf organische Schadstoffe wie polychlorierte Biphenyle oder Dibenzyfurane, die von Industrie, Müllverbrennung und Verkehr freigesetzt werden. Um die

Chemikalienkonzentration im Oberaarsee zu messen, entnahmen sie am Ufer Bohrkerne. Bei deren Analyse zeigte sich, dass in der Zeit von 1960 bis 1970 am Seeufer sehr viel an Schadstoffen abgelagert worden war. In den folgenden Dekaden sank die Konzentration aufgrund von Verboten und wegen saubere-re Technologien dann deutlich ab – sowohl in der Luft als auch im See. Seit 1997 steigt sie nun aber wieder stark an, obwohl der Gehalt in der Luft weiter sinkt. Die Schadstoffquelle muss also schmelzendes Eis sein, das sich vor Jahrzehnten gebildet hatte.

<sup>1</sup> Environ. Sci. Technol. 43, 8173–8177 (2009).

<sup>1</sup> <http://www.copenhagendiagnosis.com/>