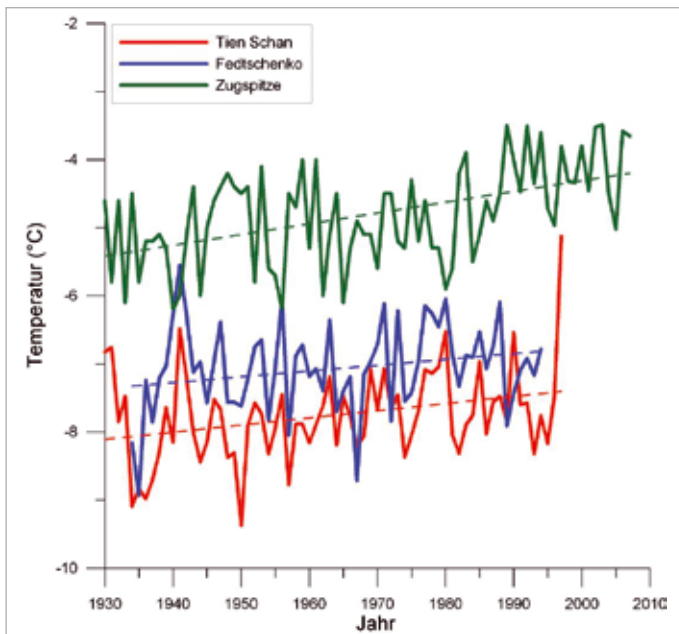




GLAZIOLOGIE

Ikonen des Hochgebirges: von den Alpen bis Asien

WIE ENTWICKELN SICH DIE GLETSCHER UND WAS SIND DIE FOLGEN? VERGLEICHENDE STUDIEN AUS DEN ALPEN UND ZENTRALASIEN GEBEN AUSKUNFT.



Vergleich der Lufttemperaturen zwischen den Alpen (Zugspitze, Quelle: DWD) und Zentralasien (Fedtschenko Station/Pamir und Tien Shan Station).

VON CHRISTOPH MAYER

Der Gedanke an die Hochgebirge der Erde assoziiert üblicherweise die Existenz von schneebedeckten Gipfeln, mächtigen Eiswänden und ausgedehnten Gletschern. Diese an sich abweisende und unzugängliche Welt fasziniert den Betrachter, und vermutlich deshalb sind Berichte über schwindende Gletscher oft sehr emotional geprägt. Vom ästhetischen Gesichtspunkt aus betrachtet können dunkle, von Schotter überzogene Felsberge auch keineswegs gegen die reichen Kontraste der Formen und Farben von Eis und Schnee bestehen. Aber haben diese Veränderungen in den Hochgebir-

gen auch spürbare Auswirkungen auf die Gesellschaft? Und wenn ja: Welcher Natur sind sie?

Welche Rolle spielen Gletscher für die Gesellschaft?

Gebirgsgletscher stellen im Wesentlichen Wasserspeicher dar, die den Abfluss aus dem Gebirge teilweise von den Niederschlägen entkoppeln. Jeglicher Niederschlag, der in fester Form auf einen Gletscher fällt, wird gespeichert und erst zu einem späteren Zeitpunkt als Schmelzwasser in den Wasserkreislauf zurückgegeben. Daher wirken Gletscher ausgleichend auf den Abfluss, wobei während nasskalter Perioden der Abfluss vermindert und in trockenen und heißen Zeiten zusätzliches Wasser an die Flüsse abgegeben wird. Je nach der Ausdehnung der Vergletscherung, den klimatischen Gegebenheiten und dem Nutzungsgrad des Flusswassers können Gletscher daher eine bedeutende Rolle für die Gesellschaft spielen. Dieser Effekt spielt allerdings, wie neuere Untersuchungen für die Alpen gezeigt haben, nur in Regionen mit starker Vergletscherung eine nennenswerte Rolle. Im Unterlauf der großen Alpenflüsse wird die Wasserführung nur zu einem geringen Teil von der Gletscherschmelze beeinflusst.

Dies ist jedoch nur eine der Konsequenzen aus der Veränderung der alpinen Vergletscherung. Ein Abschmelzen der Gletscher führt auch dazu, dass sich neue Seen innerhalb

der oft instabilen Moränenwälle bilden. Diese stellen ebenso ein Gefahrenpotential dar wie freigelegte instabile Bergflanken. Ein Gletschervorstoß kann dagegen die Infrastruktur oder genutzte Wirtschaftsflächen gefährden, worauf beispielsweise der Name „übergossene Alm“ für den Gletscher am Hochkönig hindeutet. Die globale Dimension der Gebirgsvergletscherung verdeutlicht jedoch ihr potentieller Beitrag zum Niveau des Meeresspiegels: Die Gletscher außerhalb der Polarregionen entsprechen etwa einer Meeresspiegeländerung von 20 bis 30 cm, ausgehend von der Vergletscherung um die Jahrtausendwende.

Die meisten der beschriebenen Zusammenhänge zwischen Gletschern und Umwelt wirken sich hauptsächlich im regionalen Bereich aus. Dabei sind diese Auswirkungen sehr stark von den örtlichen Bedingungen abhängig, speziell vom Grad der Vergletscherung, von der geologischen und hydrologischen Situation, den klimatischen Verhältnissen und der Siedlungs- und Landnutzungsstruktur. Eine wissenschaftlich fundierte Beurteilung der Folgen von Gletscherreaktionen z. B. auf ein sich veränderndes Klima setzt daher die lokale Untersuchung der Gletscherentwicklung voraus.

Neue Erkenntnisse durch den weltweiten Vergleich

Die weit zurückreichenden Beobachtungen im Hochgebirge der Alpen machen es möglich, für diese



Region ein sehr detailliertes Wissen über die Veränderung der Eismassen zu entwickeln. Die Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften beschäftigt sich schon seit mehr als 40 Jahren mit der Beobachtung, Dokumentation und Analyse der Reaktion ausgewählter Gletscher in den Alpen und in anderen Gebirgen. Die Übertragung der hauptsächlich in den Alpen gewonnenen Erkenntnisse auf außeralpine Gletscher und die Nutzung einer hervorragenden Datenbasis für Vergleiche der Gletscherentwicklung in verschiedenen Gebirgsregionen sind dabei eine sehr gute Grundlage für die wissenschaftliche Beurteilung der allgemeinen Gletscherentwicklung. Naturgemäß bilden hier die vergangenen Jahrzehnte einen Schwerpunkt der Analyse, wobei der Zeitraum seit Mitte des 19. Jahrhunderts den erweiterten Rahmen für die Untersuchungen bildet.

Klimafaktoren

Das Klima, d. h. der mittlere Zustand der atmosphärischen Bedingungen, wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst und ist daher einer laufenden Veränderung unterworfen. Seit etwas mehr als 100 Jahren wirkt auch die Entwicklung der menschlichen Zivilisation messbar auf das Klima ein. Insbesondere in den vergangenen

vier bis fünf Jahrzehnten konnte ein deutlicher und wachsender Einfluss nachgewiesen werden.

Die „kleine Eiszeit“ von 1550 bis 1850

Die letzten fünf Jahrhunderte waren zumindest auf der Nordhalbkugel geprägt von einer ausdauernden kühlen Phase, die etwa von 1550 bis 1850 anhielt und aufgrund der vorstoßenden Gletscher „kleine Eiszeit“ genannt wurde. Auch während dieser Zeit gab es kurzzeitige mildere Phasen, sie hatten allerdings keinen nennenswerten Einfluss auf die längerfristige Entwicklung der Eismassen in den Gebirgen. Eine genaue Rekonstruktion der klimatischen Gegebenheiten ist schwierig, da aus dieser Zeit so gut wie keine instrumentellen Beobachtungen existieren und folglich nur indirekte Daten Aufschluss über die zeitliche Entwicklung liefern können.

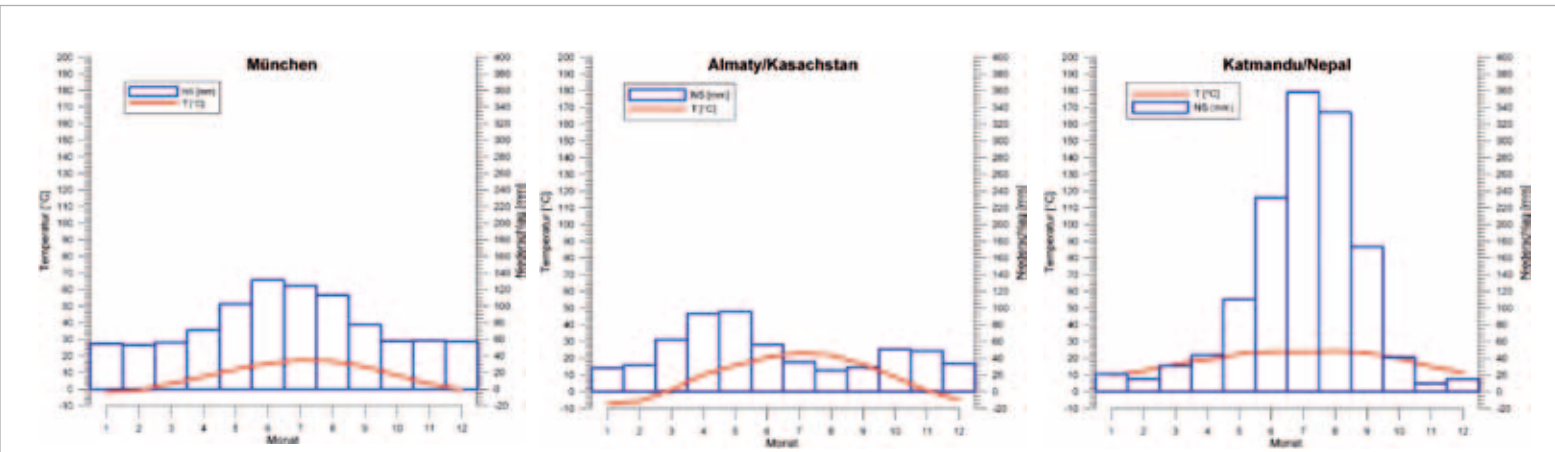
Die schrittweise Erwärmung nach der kleinen Eiszeit ist jedoch instrumentell gut belegt und kann auch regional differenziert werden. Die unterschiedlichen Einflüsse auf die Klimabedingungen resultierten während der letzten 160 Jahre in einem Anstieg der mittleren globalen Temperatur um etwa 0,9 °C. Allerdings gab es auch in diesem Zeitraum deutliche Schwankungen der Temperatur, mit einzelnen

Kältephasen in den 1920er und 1960/70er Jahren. Seit etwa 35 Jahren ist ein nahezu kontinuierlicher Anstieg der Temperaturen erkennbar, der in seiner Intensität in den letzten Jahrhunderten so nicht beobachtet worden ist. Die regionale Ausprägung der Temperaturschwankungen ist jedoch durchaus variabel und kann in verschiedenen Gebirgsgruppen deutlich unterschiedlich ausfallen. So sind etwa die Temperaturanstiege im Gebirge erheblich höher als die Entwicklung der globalen Mittelwerte. Andererseits ist der Temperaturanstieg in Zentralasien bisher nicht so deutlich ausgeprägt wie in den Alpen, wobei sich die Datenlage speziell für Gebirgsstationen seit dem Ende der Sowjetunion bedauerlicherweise deutlich verschlechtert hat.

Wo fällt wie viel Niederschlag?

Neben der Temperatur hat vor allem der Niederschlag einen wesentlichen Einfluss auf das Verhalten von Gletschern. Allerdings ist die Messung des Gebietsniederschlags bis heute nicht wirklich zufriedenstellend gelöst. Für die längerfristige Entwicklung des Niederschlags vor allem im Gebirge etwa liegen nur wenige Daten vor. Allgemein lässt sich sagen, dass mit zunehmender Temperatur ein Anstieg des Niederschlags erwartet wird, welcher im Falle der Zugspitze

Repräsentative Klimadiagramme für den Alpenraum, Zentralasien und Himalaya.



ze auch durch Messungen bestätigt wurde. Eine signifikante Zunahme konnte demgegenüber beispielsweise am Vernagtferner in den Öztaler Alpen bisher nicht nachgewiesen werden. In den zentralasiatischen Gebirgen dagegen zeigen mehrere Studien etwas feuchtere Bedingungen während der letzten Jahrzehnte.

Für den Einfluss des Niederschlags auf die Gletscherreaktion ist gerade die jahreszeitliche Verteilung von großer Bedeutung: Warme Sommerniederschläge führen eher zu einer verstärkten Abschmelzung, während eine Zunahme des Niederschlags während der Wintermonate in einer höheren Akkumulation resultiert. Die typischen Großwetterlagen in den unterschiedlichen Gebirgen haben daher deutliche Auswirkungen auf die Situation der Gletscher. Während in den Alpen im Winter erhebliche Mengen an Schnee deponiert werden, unterscheidet sich die Situation speziell im östlichen Himalaya davon grundlegend. Dort gibt es im Winter fast keine Akkumulation, die heftigen Monsunregenfälle während des Sommers gehen aber im Hochgebirge weitgehend als Schnee nieder und führen damit zu einer Koexistenz von Akkumulation und Ablation (Schmelzen) in derselben Jahreszeit. In Zentralasien hingegen

sind die Sommer extrem trocken, und es fällt während der Sommermonate kaum Niederschlag. Diese Situation wirkt sich ebenfalls auf die Ablationsbedingungen aus, da einerseits kein warmer Regen zur Schmelze beitragen kann, andererseits bei sehr geringer Luftfeuchte ein wesentlicher Teil der zur Verfügung stehenden Energie für die Sublimation von Eis in Wasserdampf verwendet wird. Dieser Prozess benötigt weitaus mehr Energie für die Ablation einer bestimmten Menge Eis als Schmelze. Die Ablationsraten sind daher in trockenen Gebieten bei gleicher Lufttemperatur wesentlich niedriger als in feuchten Gebieten.

Die Entwicklung der Gletscher seit 1850

Wie bereits erwähnt, ist die Datengrundlage in den Alpen deutlich besser als in anderen Regionen und der Rückgang der Gletscher gut dokumentiert. Seit 1850 ist ein allgemein starker Rückgang der Eismassen zu beobachten, wobei es zwischenzeitlich auch Vorstoßphasen gegeben hat. Zu erwähnen sind hier vor allem die Reaktionen auf die kühlen Perioden nach 1920 und 1965. Seit etwa 1985 sind jedoch fast alle Gletscher in den Alpen wieder in einer Phase des Zurückschmelzens. In den etwa 160 Jahren seit dem letzten Gletscherhochstand hat sich die Fläche der Alpengletscher etwa um 50 % reduziert. Ein großer Teil des Flächenverlustes ist durch die Reaktion auf das Ende der kleinen Eiszeit zu erklären, allerdings sind allein zwischen 1970 und 2000 mehr als 20 % der Gletscherflächen verschwunden. Und der Trend zu deutlich negativen Massenbilanzen ist auch im neuen Jahrtausend ungebrochen. Diese Beschleunigung des Abschmelzens kann nicht mehr als Reaktion auf die klimatischen Veränderungen im 19. Jahrhundert zurückgeführt werden, sondern

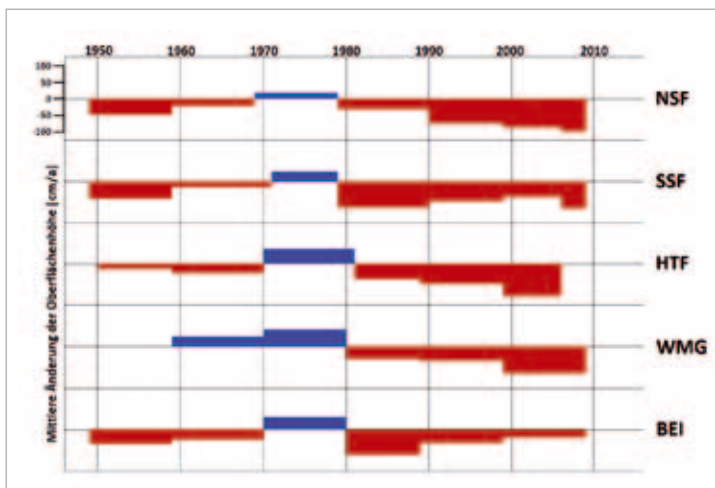
spiegelt die beschleunigte Erwärmung in den letzten 40 Jahren wider. Als Beispiel sollen hier nur die Beobachtungsergebnisse der bayerischen Gletscher dienen: An der Zugspitze ist der Plattgletscher von seiner Maximalausdehnung im Jahr 1840 von etwa 290 ha auf zwei kleine Gletscher mit zusammen etwa 60 ha geschrumpft. Der Höllentalferner konnte durch seine schattige Lage und die zusätzliche Akkumulation aus Lawinen seinen Verlust auf etwa 40 % begrenzen. Der Vergleich des Volumenverlustes aus den zehnjährigen Beobachtungen seit 1949 zeigt, dass an allen Gletschern mit Ausnahme des Blaueises die Verluste zunehmen. Ein ähnliches Bild ergibt sich auch für andere Regionen in den Alpen und deckt sich mit den Ergebnissen der anderen von der Kommission für Glaziologie beobachteten Gletscher.

In Asien ist die Situation deutlich komplizierter

In Asien stellt sich die Situation deutlich komplizierter dar und ist aufgrund der schlechteren Datenlage auch nicht so einfach zu interpretieren. Im Himalaya, einem Gebiet mit sehr intensiven Sommerniederschlägen und hoher Luftfeuchte, ist ebenfalls ein deutlicher Rückgang der Gletscher zu beobachten, der sich ähnlich wie in den Alpen während der letzten Dekaden beschleunigt.

In den trockenen Gebieten des Karakorum und in Zentralasien hingegen fallen die Flächenveränderungen wesentlich geringer aus. Ein Grund hierfür ist einerseits die geringere Zunahme der Temperatur im Verhältnis zu den Alpen, andererseits die sehr große Höhe der Akkumulationsgebiete. Die beobachteten feuchteren Verhältnisse, die hauptsächlich aus Winterniederschlag resultieren, führen dort zu einer Erhöhung der Akkumulation

Höhenänderungen der bayerischen Gletscher während der letzten sechs Jahrzehnte: der Nördliche Schneeferner (NSF), der Südliche Schneeferner (SSF), der Höllentalferner (HTF), der Watzmanngletscher (WMG) und das Blaueis (BEI) im Vergleich.



ALLE ABB.: BADW/KFG



C. MAYER

und damit einer Kompensation der verstärkten Schmelze. Dies ist vermutlich ein Grund dafür, dass eine Reihe kleinerer Gletscher um die Jahrtausendwende vorgestoßen ist. Die weitaus größte Zahl der Gletscher verliert allerdings ebenfalls an Masse, und Untersuchungen auf der Basis von Satellitenbildern zeigen, dass sich die Verluste während der letzten 20 Jahre intensivieren. Nicht nur die kleinen Gletscher sind von dieser Entwicklung betroffen, auch die mächtigen Talgletscher zeigen eindruckliche Verluste. Seit den ersten Vermessungen des Kommissionsgründers Richard Finsterwalder im Jahre 1928 hat der Fedtschenkogletscher im Pamir in seinem Zungenbereich weit über 50 m an Eisdicke eingebüßt, während die Akkumulationsbereiche keine nennenswerten Veränderungen erfahren haben. Dies zeigt, dass auch die feuchteren klimatischen Bedingungen die erhöhte Eisschmelze auf Dauer nicht kompensieren können. Ähnliche Beobachtungen wurden auch am Baltorogletscher im Karakorum und anderen Gletschern der Region gemacht. Die Entwicklung verläuft nicht so dramatisch wie in den Alpen, aber auch in diesen trockenen Gebieten sind inzwischen deutliche Flächen-

und Volumenverluste der Gletscher zu erkennen, die wie in den Alpen in letzter Zeit zunehmen.

Basierend auf einer Reihe von historischen Quellen kann die Entwicklung einiger Gletscher in den hohen Gebirgen Asiens während des letzten Jahrhunderts rekonstruiert werden. Für einige Gletscher Zentralasiens existieren sogar höher aufgelöste Beobachtungen aus den Hochzeiten der sowjetischen Glaziologie. Leider sind seit etwa 1990 fast alle Beobachtungen zum Erliegen gekommen, und auch im Karakorum gibt es bisher keine kontinuierlichen Messungen der Gletscherreaktion über längere Zeiträume. Die Kommission für Glaziologie engagiert sich in diesen Regionen dafür, neue Beobachtungsreihen in Zusammenarbeit mit lokalen Organisationen aufzubauen.

Fazit

Seit dem Ende der kleinen Eiszeit hat es in den Gebirgen Europas und Asiens starke Veränderungen der Vereisung gegeben. Trotz einer scheinbar geringeren Reaktion der zentralasiatischen Gletscher auf die Klimaentwicklung im 19. und 20. Jahrhundert ist auch dort der Trend

zu einer Beschleunigung des Abschmelzens während der letzten Dekaden zu beobachten. In den Alpen herrscht ein vorwiegend vom Atlantik beeinflusstes feuchtes Klima, das die mit dem Gletscherrückgang einhergehende Wasserproblematik deutlich abschwächt. Nur in bisher hochvergletscherten Gebieten oder während sehr langer Trockenperioden wird der Mangel an Schmelzwasser signifikante Konse-

quenzen haben. Auch andere negative Auswirkungen des Gletscherschwundes, wie etwa die Bildung gefährlicher Moränenseen, kann die hochindustrialisierte Gesellschaft durch den Einsatz moderner Technik abschwächen. Die wohl wesentlichste Veränderung wird ein Paradigmenwechsel im Tourismus sein, wenn die Ikonen des Hochgebirges, die eisbedeckten Flanken und gletscherbewehrten Wände, nach und nach verschwinden.

In den trockenen Regionen Zentralasiens hingegen ist die Gesellschaft zu einem weit höheren Teil auf Schmelzwasser aus den Gebirgen angewiesen. Dementsprechend sind auch dort die Auswirkungen auf eine wirtschaftlich deutlich schwächere Gesellschaft weitaus gravierender. Langjährige Erfahrung aus der Beobachtung alpiner Gletscher und der Beurteilung der Auswirkungen von Gletscheränderungen auf das Abflussregime und die Umwelt bildet die Basis für die Aktivitäten der Kommission für Glaziologie als Impulsgeber, Berater und Kooperationspartner für die Lösung außerordentlich wichtiger glaziologischer Fragestellungen in Zentralasien und dem Karakorum.



Gletscher im Ak Schiirak Massiv, Tien Schan, mit den Moränen des Höchststandes zur kleinen Eiszeit; Aufnahme von 2010.

Der Autor ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Kommission für Glaziologie an der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Er beschäftigt sich hauptsächlich mit der geophysikalischen Untersuchung von Gletschern. Ein Forschungsschwerpunkt ist der Vergleich der Gletscherreaktionen in den unterschiedlichen Gebirgen Asiens und der Alpen auf den Klimawandel.