

4.12 Zukünftige Gletscher-Entwicklung

MATTHIAS HUSS

Die zukünftige Gletscher-Entwicklung: Der weltweite Rückgang der Gebirgs-Gletscher während des 21. Jahrhunderts wird schwerwiegende Konsequenzen für die Menschheit haben. Gletscher sind wichtige Komponenten im globalen Wasserkreislauf und die Gletscherschmelze trägt massgeblich zum Anstieg des Meeresspiegels bei. Die künftige Entwicklung von Gletschern kann mit Berechnungs-Modellen erforscht werden, die durch Klimaszenarien angetrieben sind. Solche Modelle lassen sich heute für sämtliche 200'000 Gletscher der Erde anwenden und erlauben es den Gletscherrückgang auf globaler Skala zu bestimmen. Bis 2100 wird ein Verlust von rund einem Drittel des aktuellen Gletscher-Volumens erwartet, was den Meeresspiegel um 10-15 Zentimeter ansteigen liesse. Zum Beispiel in den Alpen dürften die Gletscher aber fast vollständig verschwinden. Prognosen der zukünftigen Gletscher-Entwicklung sind nach wie vor durch beträchtliche Unsicherheiten geprägt, deren Reduktion ein verbessertes Verständnis der beteiligten Prozesse erfordert.

The future development of the glacier: The retreat of mountain glaciers worldwide during the 21st century is expected to have severe impacts on humanity. Glaciers are important components of the global hydrological cycle and glacier wastage substantially contributes to sea-level rise. Future glacier evolution can be investigated using numerical models driven by climate scenarios. Today, such models can be applied to all 200,000 glaciers on Earth and permit assessing glacier change at the global scale. Until 2100, a loss of about one third of the current glacier ice volume is anticipated, raising the sea level by 10-15 centimetres. However, in the Alps, for example, glaciers might almost completely disappear. Projections of future glacier evolution are still hampered by considerable uncertainties which could only be tackled with an improved understanding of the involved processes.

Die Entwicklung von Gletschern in Raum und Zeit bestimmt das Landschaftsbild von Gebirgsregionen überall auf unserem Planeten massgebend. Es ist heute schwer vorstellbar, dass die eindrücklichen Gletscherbrüche an den Flanken von Eisriesen bald nicht mehr existieren könnten.

Im Zuge des globalen Klimawandels stellt der Gletscher-Rückgang rund um den Globus die Menschheit vor ernstzunehmende Probleme. Gletscher regulieren einerseits den Wasserkreislauf in vielen Gebieten der Erde, indem sie Wasser in kalten und feuchten Perioden speichern und es während warmen und trockenen Phasen wieder freigeben. Mit einem Verschwinden des ewigen Eises könnte dieser Effekt wegfallen und zu Wasserknappheit und Dürren führen. Andererseits trägt die Gletscherschmelze zum globalen Meeresspiegelanstieg bei, was Küstenregionen auf der ganzen Welt beeinflussen wird. Daneben ergeben sich neue Bedrohungen durch Naturgefahren, wie Bergstürze oder Seeausbrüche, die durch den Gletscherrückzug begünstigt werden. Nicht zuletzt stellen Gletscher eine wichtige Komponente für den Tourismus dar und werden als Sinnbild für eine intakte Bergwelt wahrgenommen.

Die prognostizierte Klimaerwärmung während des 21. Jahrhunderts wird schwerwiegende Auswirkungen auf die Gletscher weltweit haben und in einigen Regionen sogar zu ihrem kompletten Verschwinden führen (MARZEION et al. 2012). Dieser Artikel soll die Auswirkungen des Klimawandels während der kommenden Jahrzehnte auf die Gletscher im Rahmen einer globalen Betrachtung aufzeigen. Es werden ausgewählte Resultate sowie Probleme, Unsicherheiten und offene Fragen diskutiert und die Konsequenzen des Gletscherrück-

gangs auf die Hydrologie in verschiedenen Gebirgsregionen dargelegt.

Neben den beiden grossen Eisschilden – Grönland und Antarktis – gibt es rund 200.000 Gletscher (PFEFFER et al. 2014). Diese bedecken heute ungefähr 730.000 km², was in etwa der Fläche Deutschlands, Österreichs und Italiens zusammen entspricht. Der Grossteil des Gletschereises befindet sich in den polaren Regionen, zum Beispiel in Alaska oder der Kanadischen Arktis. Sehr viele Gletscher liegen auch in den Gebirgen Zentralasiens (Himalaya, Karakorum, Pamir, Tien Shan). Falls alle Gletscher vollständig abschmelzen würden, könnte dies den Meeresspiegel um rund 40 Zentimeter ansteigen lassen (HUSS & FARINOTTI 2012). Im Vergleich zu Grönland und der Antarktis beträgt dieser potenzielle Beitrag weniger als 1% und ist damit verschwindend klein. Dennoch ist die Schmelze von Gletschern die wichtigste Komponente des aktuellen Meeresspiegelanstiegs (GARDNER et al. 2013) und wird auch in den nächsten Jahrzehnten relevant bleiben (IPCC 2013).

Gebirgsgletscher reagieren aufgrund ihrer relativ geringen Grösse viel schneller auf eine Veränderung der klimatischen Bedingungen als Eisschilde. Steigt die Lufttemperatur an oder nimmt der Niederschlag in Form von Schnee ab, beginnt sich die Gletscherzunge mit einer Verzögerung von wenigen Jahren zurückzuziehen. Der Gletscher verringert dabei sein Volumen und versucht so ein neues Gleichgewicht mit dem Klima auf einer grösseren Höhe zu erreichen. Ob ein solches Gleichgewicht erreicht werden kann, oder ob das Eis ganz verschwindet, wird durch die Höhe der Bergkette sowie den Betrag der Klimaänderung bestimmt.

Berechnung des Gletscher-Rückgangs

Während Gletscherschmelze in der Vergangenheit direkt beobachtet werden kann, ist die Anwendung von Berechnungs-Modellen unumgänglich, um die zukünftige Entwicklung von Gletschern zu erforschen. Solche Modelle beschreiben die Auswirkungen von Veränderungen in Temperatur, Niederschlag und Sonnen-Einstrahlung auf die Schnee-Akkumulation und die Schmelze an der Eisoberfläche (die sogenannte Massenbilanz). Andererseits wird der Rückgang (oder der Vorstoss) des Gletschers als verzögerte Reaktion auf Variationen der Massenbilanz berechnet.

Gletscher-Modelle für Zukunftsprognosen werden durch Klimamodelle angetrieben. Letztere liefern Daten zur Entwicklung von Temperatur und Niederschlag im 21. Jahrhundert aufgrund von Annahmen zu verändertem CO₂-Ausstoss und den Reaktionen im globalen Klimasystem. Heute existiert eine Vielzahl von verschiedenen Klimamodellen, deren Resultate eindeutig auf eine markante Erwärmung der Atmosphäre in Zukunft hindeuten (IPCC 2013). Die Beschreibung der vielschichtig zusammenhängenden klimatischen Prozesse ist jedoch extrem komplex. Deshalb unterscheiden sich die einzelnen Klimamodelle in ihren erwarteten Erwärmungs-Trends. Eine weitere wichtige Unsicherheit ist die unbekannte Entwicklung unserer Technologie und damit die künftigen Emissionen von Treibhausgasen. Um die Veränderung von Gletschern im 21. Jahrhundert zu analysieren, werden Berechnungen meist basierend auf verschiedenen Szenarien durchgeführt. Dies kann die beträchtlichen Unsicherheiten der Klimaentwicklung abbilden. Der weltweite Gletscherrückgang wurde in verschiedenen Studien mithilfe von 14 globalen Klimamodellen und drei unterschiedlichen CO₂-Emissionsszenarien berechnet (siehe unten).

Je nach Fragestellung werden Gletscher-Modelle unterschiedlicher Komplexität angewendet. Für Studien auf einzelnen Gletschern kommen oft sehr detaillierte Modelle zum Einsatz. Diese bestimmen die Massenbilanz für jeden Punkt der Eisoberfläche mittels einer genauen Beschreibung der Energieflüsse zwischen Atmosphäre und Gletscher (z.B. OERLEMANS et al. 2009). Die dreidimensionale Veränderung der Gletschergeometrie (Dicke, Länge, Höhererstreckung) wird mit Hilfe eines Fließmodells berechnet, welches die Eisdeformation und das Gleiten des Eises über das Gletscherbett darstellen kann (z.B. JOUVET et al. 2009). Solche Modelle erlauben es, präzise Vorhersagen zu machen und Rückkoppelungsmechanismen aufzulösen, welche den Gletscherrückgang beschleunigen oder verlangsamen können. Der Rechenaufwand ist jedoch beträchtlich und eine Anwendung ist nur mög-

lich, falls eine gute Grundlage von Messdaten für den jeweiligen Gletscher verfügbar ist.

Für Studien der zukünftigen Gletscher-Entwicklung auf regionaler oder sogar globaler Skala kommen einfachere Modelle zum Einsatz (MARZEION et al. 2012, RADIĆ et al. 2014, HUSS & HOCK 2015). Trotz der reduzierten räumlichen und zeitlichen Auflösung ist es diesen Modellen möglich, die wichtigsten Prozesse, sowie deren Veränderungen als Reaktion auf den globalen Klimawandel zu beschreiben. So werden zum Beispiel Schnee-Akkumulation und Schmelze, das Wiedergefrieren von Schmelzwasser und der Gletscherrückgang mittels vereinfachter Formeln für jeden einzelnen der 200.000 Gletscher der Erde berechnet. Neue Modelle erlauben es auch, den Massenverlust durch das Abbrechen von Eisbergen in den Ozean zu schätzen. Eine sorgfältige Kalibrierung mit verschiedenen Typen von Messdaten aus der Vergangenheit ist äusserst wichtig, um die Zuverlässigkeit der Modellresultate sicherzustellen.

Abb. 4.12-1 zeigt exemplarisch die berechnete Entwicklung eines Talgletschers in den Schweizer Alpen. Gemäss den Resultaten eines detaillierten Massenbilanz-Eisfluss-Modelles wird der Rhonegletscher – während der letzten Eiszeit bedeckte er eine Fläche von rund 10.000 km² und war über 300 km lang – bis in rund 100 Jahren über 90% seines Volumens verloren haben (JOUVET et al. 2009). Während bis 2050 der Gletscherrückgang noch relativ gemächlich vor sich geht, da sich in den höchsten Lagen immer noch Schnee anlagern kann, ist eine deutliche Beschleunigung in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts zu erwarten. Ein Gletschersee, der sich schon vor einigen Jahren an der Zunge des Rhonegletschers gebildet hat, könnte zu einem schnelleren Massenverlust beitragen. Bis zum Jahr 2090 können sich gemäss der Modellierung noch Eisreste im ehemaligen Akkumulationsgebiet halten. Dort hat der Gletscher heute eine Dicke von bis zu 400 Metern. Das Abschmelzen dieser Eismasse kann also mehrere Jahrzehnte dauern, auch wenn das Klima keinen Eisnachschieb mehr begünstigt.

Gletscherrückgang auf globaler Skala

Prognosen der Entwicklung sämtlicher Gletscher weltweit stellen grosse Anforderungen an die Modelle, da einerseits die Datengrundlage (Klima, heutige Gletscherausdehnung und –mächtigkeit) teils unsicher ist, und andererseits die grosse Skala eine starke Abstraktion in der Prozess-Beschreibung verlangt. Daneben ist es unmöglich die Modell-Resultate für jeden einzelnen Gletscher zu überprüfen. Dennoch stellen globale Gletscher-Modelle die einzige Möglichkeit dar, den Beitrag des Eisverlustes auf den Meeresspiegel fundiert zu bestimmen und dessen Geschwindigkeit zu berechnen

um, zum Beispiel, entsprechende Planungsmassnahmen im Küstenbereich umzusetzen.

Im neuesten Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) wurde die Entwicklung der Gletscher weltweit mit verschiedenen relativ einfachen, empirischen Berechnungs-Modellen bestimmt (MARZEION et al. 2012; RADIC' et al. 2014). Diese Studien sind ein grosser Fortschritt, da sie erstmals auf ein komplettes Inventar aller Gletscher der Erde zurückgreifen konnten (PFEFFER et al. 2014), um damit die Entwicklung jedes einzelnen Gletschers zu simulieren. Allerdings vernachlässigen diese Modelle auch wichtige Prozesse wie das Abbrechen von Eis in den Ozean (Kalbung) und berechnen die Reaktion der Gletscher nicht aufgrund ihrer tatsächlichen Geometrie. Somit ist es nur bedingt möglich, zentrale Rückkoppelungsmechanismen zu beschreiben. Durch ein weiterentwickeltes Gletscher-Modell (HUSS & HOCK 2015) können einige dieser Unsicherheiten nun besser aufgelöst und genauer erforscht werden. Im Folgenden werden ausgewählte Resultate dieses neuen Modells dargestellt und diskutiert.

Während Gletscher in mittleren geographischen Breiten (Alpen, Rocky Mountains, Anden, Kaukasus) stark zurückgehen und wahrscheinlich noch in diesem Jahrhundert bis zu 90% ihres heutigen Eisvolumens einbüßen werden, reagieren Gletscher in der Arktis (z.B. Eiskappen im Norden Kanadas) langsamer und verlieren nur zwischen 20-50% ihres Eises (Abb. 4.12-2). Auch für die Gletscher am dritten Pol

der Erde (Himalaya und andere Gebirge Zentralasiens) prognostiziert das Modell einen Volumen-Verlust von rund 70%. Es bestehen allerdings grosse Unterschiede in den Resultaten, je nachdem welches Klimamodell verwendet wird (Abb. 4.12-2). Weltweit dürfte sich die Masse sämtlicher Gebirggletscher, abhängig von der Entwicklung der CO₂-Emissionen, um 25 bis 48% Prozent reduzieren. Dieser Wert wird durch die polaren Gebiete dominiert. Da die Gletscher der Arktis und in der Peripherie der Antarktis sehr gross sind und träge auf eine Veränderung des Klimas reagieren, wird sich ihre Rückgangsrate bis ins 22. Jahrhundert hinein zu sehends beschleunigen.

Gemäss den Modell-Resultaten aus verschiedenen Studien wird die Schmelze aller Gletscher weltweit zwischen 2010 und 2100 ungefähr 120-150 Millimeter (mittleres Emissions-Szenario) zum Anstieg des globalen Meeresspiegels beitragen (Abb. 4.12-3). Auf den ersten Blick mag dies als wenig erscheinen – was sind denn schon eine oder zwei Handbreiten Wasser im Weltmeer? Es ist allerdings zu bedenken, dass sich das Schmelzwasser der Gletscher im Ozean mit demjenigen der Eisschilde, sowie der wärmebedingten Ausdehnung des Meerwassers überlagert. Schon ein nur um wenige Zentimeter höherer Meeresspiegel kann, vor allem in der Kombination mit Stürmen, grosse Auswirkungen auf die Küstenerosion und damit auf über eine Milliarde Menschen haben, die in Küstennähe leben.

Für ein Szenario, für welches eine Reduktion der CO₂-Emissionen auf gegen Null angenommen wird

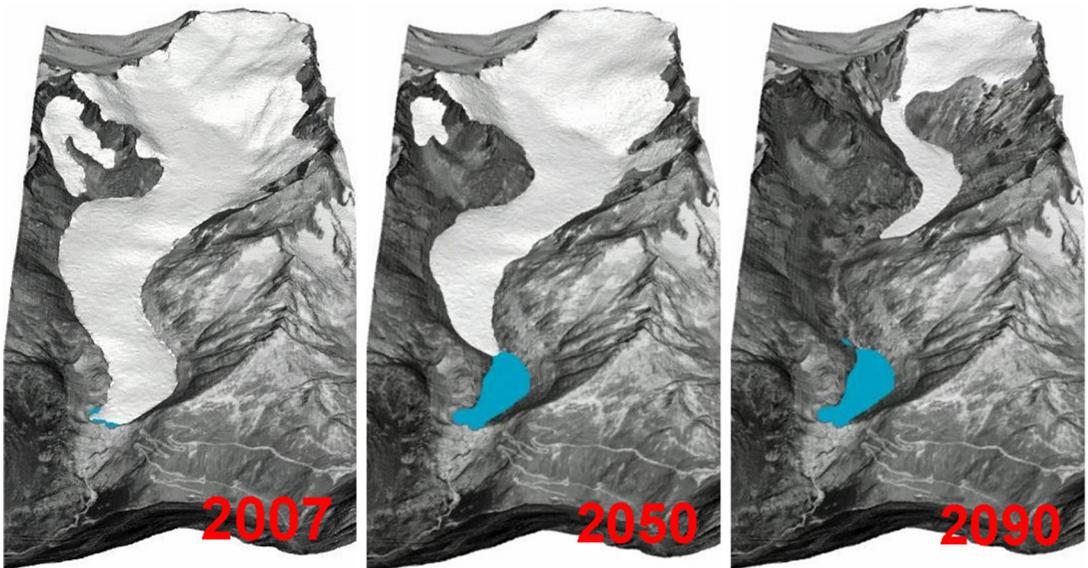


Abb. 4.12-1: Berechneter Rückgang des Rhonegletschers, Schweizer Alpen, während des 21. Jahrhunderts (Graphik modifiziert nach JOUVET et al. 2009).

(RCP2.6) verlangsamt sich der Gletscher-Massenverlust in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts (Abb. 4.12-3). Aber auch in diesem Fall steigt der Meeresspiegel beträchtlich an. Ein anderes Extrem-Szenario (RCP8.5), welches von »business as usual« ausgeht, also keine besonderen Anstrengungen zur Eindämmung der Emissionen vorsieht, weist hingegen auf eine anhaltende Beschleunigung der Gletscherschmelze hin (Abb. 4.12-3).

Künftige Veränderungen in der Hydrologie

In vergletscherten Einzugsgebieten stammt ein beträchtlicher Teil des Abflusses während der Sommermonate von Gletscherschmelze. Die Gletscher erfüllen so eine natürliche Speicherfunktion, indem sie Wasser im Winter und in kalten, feuchten Jahren aufnehmen und dieses im Sommer, sowie während heißen Dürreperioden wieder abgeben. Damit stellen sie ein Wasserangebot zur Verfügung, das oft genau antizyklisch zur Wassernutzung durch den Menschen ist. Mit dem Verschwinden der Gletscher könnte in naher Zu-

kunft diese wichtige Ausgleichsfunktion verloren gehen. Dies könnte in Regionen, wo man auf ein kontinuierliches Wasserangebot zur Bewässerung von Feldern und/oder zur Stromproduktion angewiesen ist, gravierende Folgen haben.

Betrachtet man den Gesamtabfluss aus einem vergletscherten Einzugsgebiet, lässt sich festhalten, dass dieser während der Periode des Gletscherrückgangs erhöht ist, da Wasser aus langfristiger Speicherung im Gletschereis freigesetzt wird. Falls der Gletscher eine kritische Grösse unterschreitet oder ganz verschwunden ist, geht der Jahresabfluss wieder zurück. Während dieser Übergangsphase zu einer eisfreien Quellregion wird ein wichtiger Wendepunkt – auch als »peak water« bezeichnet – erreicht (Abb. 4.12-4). Vor diesem Zeitpunkt steigt der Gesamtabfluss an, danach nimmt er ab, da die geschrumpfte Gletscherfläche nicht mehr ausreichende Wassermengen liefern kann, um den Abfluss auf hohem Niveau zu halten. Um die Bewirtschaftung der Wasservorräte zu planen, muss bekannt sein, wann dieses maximale Abflussvolumen auftreten wird.

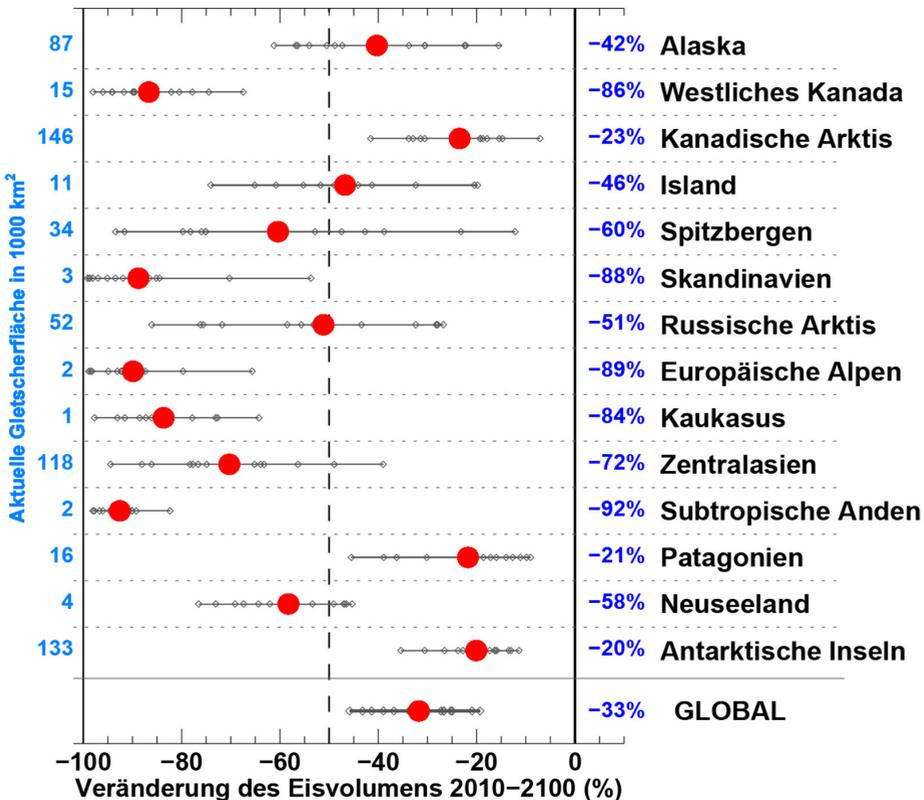


Abb. 4.12-2: Erwartete Veränderung des Eisvolumens in den wichtigsten vergletscherten Regionen der Erde. Die Resultate beziehen sich auf die Periode 2010 bis 2100 und basieren auf mehreren globalen Klimamodellen (graue Symbole), welche einen moderaten Anstieg der CO₂-Emissionen annehmen. Die heutige Gletscherfläche ist links angegeben (Graphik modifiziert nach Huss & Hock 2015).

Können wir in den kommenden Jahrzehnten noch mit genügend Wasser aus den »Wasserschlössern« der Erde rechnen, oder haben wir den Wendepunkt bereits überschritten?

Der Zeitpunkt von »peak water« unterscheidet sich für einzelne Gebirgsketten stark. Für Regionen mit grossen Gletschervolumina (z.B. Alaska, Island) zeigt das Modell zur Berechnung der globalen Gletscherentwicklung einen Anstieg des Gesamtabflusses bis gegen das Jahr 2080 (Abb. 4.12-4). Das Maximum wird in Gebirgsregionen mit kleineren Gletschern (z.B. Alpen, Rocky Mountains, Anden) jedoch schon in den nächsten Jahren erreicht und dürfte, zumindest für einige Einzugsgebiete, schon überschritten worden sein. Für die Ströme, die aus den Gebirgen Zentralasiens hervorgehen, wird »peak water« ungefähr in der Mitte des Jahrhunderts erwartet (Abb. 4.12-4).

Neben dem Gesamtabfluss ist vor allem die Schmelzperiode der Gletscher fürs Management der Wasserressourcen ausschlaggebend. Verkleinert sich die Gletscherfläche, kommt es zwingend zu einer Verschiebung des Abflusses vom Sommer in den Frühling. In Regionen, in denen das Klima durch niederschlagsreiche Winter und trockene Sommermonate ausgezeichnet wird (z.B. aride Gebiete Zentralasiens, Teile der Alpen, Subtropische Anden), kann diese Veränderung des Abflussregimes grosse Auswirkungen haben. In den Einzugsgebieten grosser Ströme kann selbst bei sehr geringer Vergletscherung im Sommer weit über ein Viertel des Wassers aus Gletscherschmelze stammen (Huss 2011). Fällt dieser wichtige Beitrag weg, könnte der Abfluss unter eine kritische Grenze sinken.

Schlussfolgerungen

Der erwartete Rückgang der Gebirgsgletscher weltweit ist eng an die klimatische Entwicklung und deren Unsicherheiten geknüpft. In verschiedenen Regionen unseres Planeten dürften die Gletscher mit grosser Wahrscheinlichkeit noch während dieses Jahrhunderts bis auf kleine Resten verschwinden. Dies betrifft vor allem Gebirge, die durch relativ kleine Gletscher charakterisiert sind, wie zum Beispiel die Alpen (siehe Abb. 4.12-2). Gemäss den Modellen ist auch ein beträchtlicher Verlust für grosse Gletscher in polaren Regionen zu erwarten. Da diese jedoch träge auf eine Veränderung des Klimas reagieren, dauert es deutlich länger bis diese Regionen komplett eisfrei sein werden. Der weltweite Gletscherrückgang wird einen massgebenden Beitrag zum Anstieg des Meeresspiegels leisten, sowie nachhaltige Veränderungen in der Hydrologie von vergletscherten Einzugsgebieten bewirken.

Für weiterführende Studien der zukünftigen Gletscher-Massenbilanz stellen sich verschiedene Herausforderungen. Positive und negative Rückkoppelungsmechanismen müssen besser erforscht werden, um sie in globalen Modellen berücksichtigen zu können. Es wird beispielsweise beobachtet, dass Gletschereis im Zusammenhang mit dem Klimawandel immer dunkler wird (OERLEMANS et al. 2009). Dies verstärkt die Schmelze, da mehr Sonnenstrahlung absorbiert wird. Andererseits bilden sich im Zusammenhang mit ihrem Rückgang immer mehr schuttbedeckte Gletscher. Unter der Geröllschicht auf dem Eis verringert sich die Schmelzrate tendenziell. Das Abbrechen von Eisbergen in den Ozean ist eine zentrale Komponente des Massenverlustes, durch

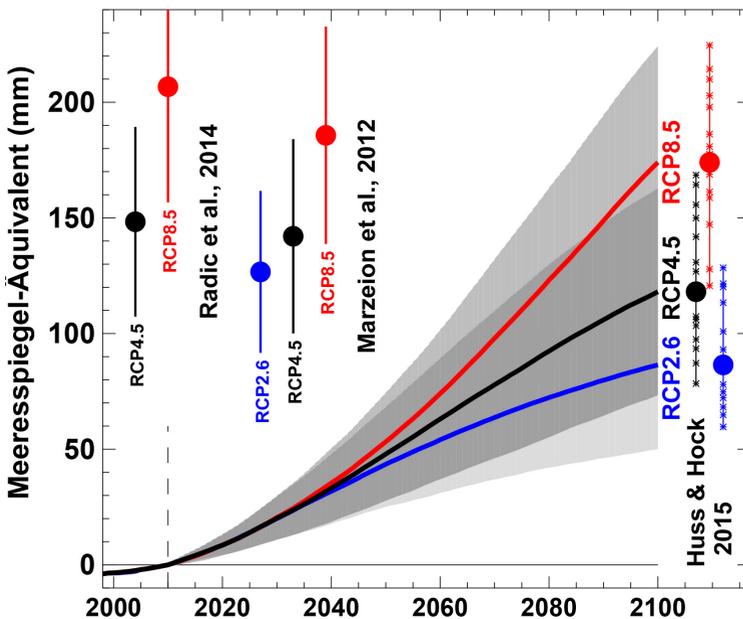


Abb. 4.12-3: Berechneter kumulativer Verlust an Gletscher-Eisvolumen (ausgedrückt als Meeresspiegelanstieg) für drei CO₂-Emissionsszenarien (RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5) nach Resultaten von Huss & Hock (2015). Die schattierten Bereiche zeigen den Unsicherheitsbereich der Klimamodelle. Resultate von zwei weiteren Studien sind zum Vergleich dargestellt.

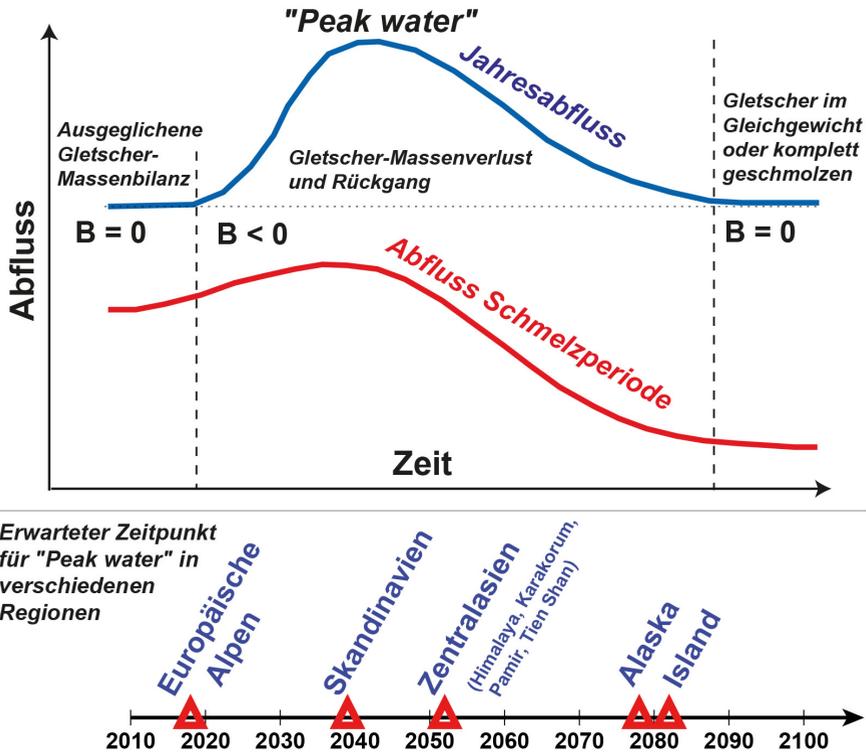


Abb. 4.12-4: Schematische Darstellung der typischen Abflussentwicklung während der Entgletscherung eines Einzugsgebietes (oben). Wie Berechnungen zeigen, unterscheidet sich der Zeitpunkt des Maximal-Abflusses (»Peak water«) aufgrund der Gletscher-Massenbilanz stark von Region zu Region (unten).

welche rund 30% der Gletscherfläche weltweit betroffen sind. Prognose-Modelle, welche diesen Prozess beschreiben, sind jedoch noch sehr unsicher. Eine weitere wichtige Frage betrifft den aktuellen Gleichgewichtszustand der Gletscher. Grosse Gletscher reagieren mit einer Verzögerung von Jahrzehnten bis zu einem Jahrhundert auf eine Veränderung der klimatischen Gegebenheiten. Viele sind deshalb zu gross für das aktuelle Klima und werden sich – auch bei vollständig ausbleibender Erwärmung – beträchtlich zurückziehen.

Literatur

- GARDNER, A. S., MOHOLDT, G., COGLEY, J. G., WOUTERS, B., ARENDT, A. A., WAHR, J., ... & PAUL, F. (2013): A reconciled estimate of glacier contributions to sea level rise: 2003 to 2009. *Science*, 340(6134), 852-857.
- HUSS, M. (2011): Present and future contribution of glacier storage change to runoff from macroscale drainage basins in Europe. *Water Resources Research*, 47(7).
- HUSS, M. & D. FARINOTTI (2012): Distributed ice thickness and volume of all glaciers around the globe. *Journal of Geophysical Research*, 117(F4), F04010.
- HUSS, M. & R. HOCK (2015): A new model for global glacier change and sea-level rise. *Frontiers in Earth Sciences*. doi: 10.3389/feart.2015.00054 (im Druck).

IPCC (2013): *Climate Change 2013: the physical science basis*. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

- JOUVET, G., HUSS, M., BLATTER, H., PICASSO, M. & J. RAPPAPAZ (2009): Numerical simulation of Rhonegletscher from 1874 to 2100. *Journal of Computational Physics*, 228(17), 6426-6439
- MARZEION, B., JAROSCH, A. H. & M. HOFER (2012): Past and future sea-level change from the surface mass balance of glaciers. *The Cryosphere*, 6(6), 1295-1322.
- OERLEMANS, J., GIESEN, R. H. & M. R. VAN DEN BROEKE (2009): Retreating alpine glaciers: increased melt rates due to accumulation of dust (Vadret da Morteratsch, Switzerland). *Journal of Glaciology*, 55(192), 729-736.
- PFEFFER, W. T., ARENDT, A. A., BLISS, A., BOLCH, T., COGLEY, J. G., GARDNER, A. S., ... & SHARP, M. J. (2014): The Randolph Glacier Inventory: a globally complete inventory of glaciers. *Journal of Glaciology*, 60(221), 537-552.
- RADIĆ, V., BLISS, A., BEEDLOW, A. C., HOCK, R., MILES, E. & J. G. COGLEY (2014): Regional and global projections of twenty-first century glacier mass changes in response to climate scenarios from global climate models. *Climate Dynamics*, 42(1-2), 37-58.

Kontakt:

Dr. Matthias Huss
 Departement für Geowissenschaften
 Universität Freiburg, Freiburg, Schweiz
 matthias.huss@unifr.ch

Huss, M. (2015): *Zukünftige Gletscher-Entwicklung*. In: Lozán, J. L., H. Grassl, D. Kasang, D. Notz & H. Escher-Vetter (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Das Eis der Erde*. pp. 183-188. Online. www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.eis-der-erde.27