

## 4.3 Holozäne und aktuelle Gletscherdynamik im subarktischen und vulkanischen Milieu Islands

JÖRG FRIEDHELM VENZKE

**Holozäne und aktuelle Gletscherdynamik im subarktischen und vulkanischen Milieu Islands:** Island ist zu 11% seiner Landesfläche vergletschert. Dies ist auf das subarktische Klima des Nordatlantik und die Inseltopographie zurückzuführen. Es wird die nacheiszeitliche Gletscherentwicklung skizziert und die aktuelle Gletscherdynamik, bestimmt durch den Gletscherrückgang aufgrund der globalen Erwärmung sowie die gelegentlich auftretenden Surges und Gletscherläufe, bedingt durch die zahlreichen subglazialen Vulkan- und Geothermalgebiete, präsentiert.

**Holocene and current glacier dynamics in the sub-Arctic and volcanic environment Islands:** About 11% of the land area of Iceland is covered by glaciers. These glaciers owe their existence to the sub-Arctic climate conditions of the North Atlantic and the island's topography. In this contribution, the post-glacial evolution of glaciers in Iceland is outlined, as is the recent glacier dynamics. The recent dynamics is influenced by global warming on the one hand, and on the other hand by occasional surges and so called jökulhlaups that are related to volcanic and geothermal activity underneath many of the glaciers.

### Island, das »Eisland«

Als im späten 9. Jahrhundert zunächst nur kurzfristig irische Mönche und dann – ab ca. 870 n. Chr. – norwegische Wikinger Island erreichten und dauerhaft besiedelten, waren ihre ersten Eindrücke u.a. die der stark vergletscherten Berge im Süden und des winterlichen Packeisverschlusses der Nordküste. Was lag näher, als diese Insel im Nordatlantik mit ihren subarktischen Klimabedingungen »Eisland« oder eben »Island« zu nennen?

Die Beobachtung und Erforschung der isländischen Gletscher haben seit dem Mittelalter Tradition und sind überwiegend gut dokumentiert (ÞÓRARINSSON 1960, vgl. auch VENZKE 1985). Seit den 1930er Jahren wird an etwa 40 Messpunkten die jährliche Veränderung der Gletscherfronten registriert; im Beobachtungszeitraum 2011/12 wurde an 37 Punkten gemessen (SIGURÐSSON 2013). Ein aktuelles Gletscher-Inventar stellen SIGURÐSSON & WILLIAMS, JR. (2008) bereit.

### Aktuelle Vergletscherung und ihr klimatisches und vulkanisches Milieu

Gegenwärtig sind etwa 11% der isländischen Festlandsfläche (103.000 km<sup>2</sup>) vergletschert. Diese Vereisung enthält etwa 3.600 km<sup>3</sup> Wasser und stellt das Potenzial für einen Meeresspiegelanstieg von 1 cm dar (BJÖRNSSON & PÁLSSON 2008).

Die Vergletscherung ist ein Resultat der klimatischen und topographischen Verhältnisse der Insel. Bei Jahresmitteltemperaturen von um 5 °C und Wintermitteltemperaturen von um 0 °C im Küstenniveau an der Südküste fallen in Höhenlagen von über 1.300 m 4.000 bis 5.000 mm Niederschlag. Die daraus resultierende Schneerversorgung der Gletscher nimmt nach Norden hin, wohin es zwar kälter, jedoch auch trockener wird, ab. Dem stehen Ablationsraten gegenüber, die zu etwa zwei Dritteln durch die sommerliche Einstrahlung und

– typisch für das nordatlantisch-ozeanische Milieu – zu etwa einem Drittel durch turbulente Wärmeströme (latente und fühlbare Wärme) verursacht werden. Hieraus ergeben sich Firmlinien (also die Trennung zwischen Nähr- und Zehrgebieten), die am Südrand des Vatnajökull und Mýrdalsjökull bei etwa 1.000 m, am Nordrand des Vatnajökull bei etwa 1.400 m und im Nordwesten bei etwa 600 m liegen (vgl. Abb. 4.3-1; die dort eingetragenen Isoglacihypsen folgen EYTHÓRSSON 1931 [vgl. auch BJÖRNSSON 1979]). Heute liegen sie höher; am Breiðarmerkurjökull (südlicher Vatnajökull) z.B. bei etwa 1.050 m und am Dyngjujökull (nördlicher Vatnajökull) bei etwa 1.550 m (BJÖRNSSON & PÁLSSON 2008). Alle Gletscher gehören zum »temperierten« Typ, d.h. dass sich die Eistemperaturen im Bereich des Druckschmelzpunktes bewegen und somit an der Gletscherbasis Schmelzwasser auftreten kann.

Die größten Gletscher heute sind Vatnajökull (ca. 8.100 km<sup>2</sup>), Langjökull (900 km<sup>2</sup>), Hofsjökull (890 km<sup>2</sup>), Mýrdalsjökull (590 km<sup>2</sup>) und Drangajökull (160 km<sup>2</sup>) sowie acht weitere Gletscher mit Flächen von über 10 km<sup>2</sup> und etliche Gebirgsgletscher, besonders auf der Halbinsel Tröllaskagi, mit Flächen von wenigen oder unter einem km<sup>2</sup>.

Etwa 60% der heutigen Gletscherflächen befinden sich über aktiven Vulkanen bzw. deren Calderen und Geothermalgebieten (s.u.); dies gilt z.B. für den Vatnajökull mit Öraefajökull, Grímsvötn und Bárðarjökull, den Hofsjökull und Mýrdalsjökull mit Katla sowie den Snæfellsjökull.

### Spätglaziale und holozäne Gletschergeschichte

Die weichselzeitliche Maximalvergletscherung Islands mit Eismächtigkeiten bis zu 2.000 m im Zentrum der Insel, die jedoch wahrscheinlich im Norden einige Nunatakker eisfrei ließ, reichte weit auf den heutigen

Schelfbereich hinaus; submarine Moränen wurden 130 km westlich des Breiðafjörður in Wassertiefen von 200 bis 350 m gefunden (ÓLAFSDÓTTIR 1975). Die nach-eiszeitliche Enteisung setzte erst recht spät ein, sodass einige Eisränder vermutlich durch den eustatischen Meeresspiegelanstieg aufschwammen und dies zu verstärkter Eisbergbildung führte. Während der ersten bedeutenden Erwärmungsphase, dem Bølling-Interstadial (in Island: Kópasker-Stadium), befand sich Eis nur noch innerhalb der heutigen Küstenlinie. Die beiden spätglazialen Gletschervorstöße der Älteren (Álfanes-Stadium) und Jüngeren Dryas-Zeit (Hólkot- bzw. Búði -Stadium), unterbrochen von der Allerød-Erwärmung vor ca. 11.600 Jahren (in Island: Saurbær-Stadium), brachten das Eis noch zweimal bis fast ins heutige Küstenniveau, wo sie z.T. gut erkennbare Endmoränenzüge hinterließen. Auch präboreale Gletschervorstöße sind – besonders nördlich des Hofsjökull – feststellbar (NORÐDAHL et al. 2008).

Während des holozänen Klimaoptimums im Atlantikum mit Jahresmitteltemperaturen von etwa 2 K mehr

als heute war Island fast vollständig ohne Gletscherbedeckung; vermutlich gab es nur einige kleinere Eiskappen im Bereich des heutigen Vatnajökull, z.B. auf dem Öräfajökull, dem höchsten Berg Islands (Hvannadalshnúkur, 2.110 m ü. M). Erst mit den wieder tendenziell abnehmenden Temperaturen seit etwa 3.000 Jahren, während der es jedoch auch – z.B. im Mittelalter – wärmere Phasen gab, bildeten sich die Gletscher erneut. Der größte Gletscher, der Vatnajökull, wuchs aus mehreren einzelnen Vereisungszentren zusammen. Noch heute zeugen über zwanzig verschiedene Einzugsgebiete für Gletscherabflüsse davon; die zur Jökulsá á Fjöllum und Jökulsá á Brú im Norden sowie zum Skeiðarársandur und zur Jökulsá á Breiðarmerkursandi im Süden sind dabei die bedeutendsten.

Die historische Zeit ist zunächst durch das mittelalterliche Wärmeoptimum, wahrscheinlich auch schon zur sog. Landnahmezeit (870 bis 930 n. Chr.) und dann durch eine folgende beachtliche Abkühlung geprägt. Während dieser sog. Kleinen Eiszeit (»Little Ice Age«; etwa 1400 bis 1900) erreichten die isländischen Glet-

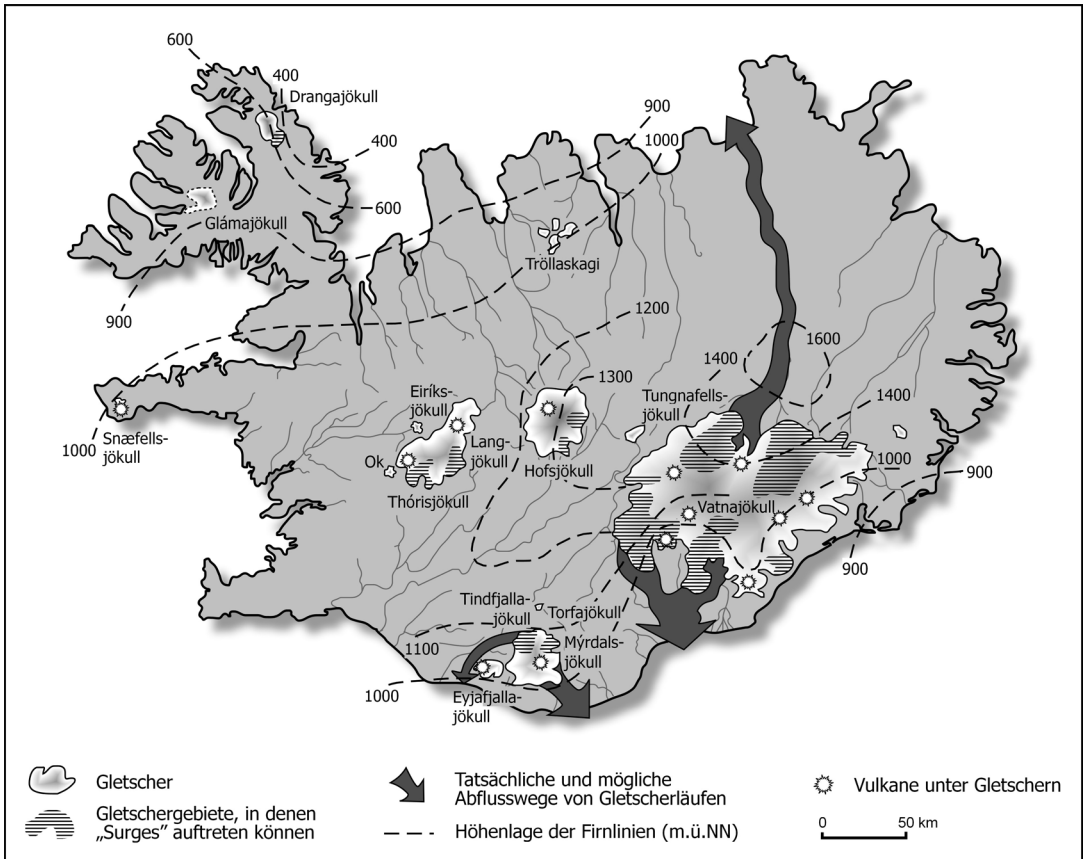


Abb. 4.3-1: Die Gletscher Islands mit Surge- und Gletscherlauf-Gebieten (Kartographie: Matthias Scheibner, Institut für Geographie, Universität Bremen).

scher ihr nacheiszeitliches Maximum (z.T. bis 15 km vor dem aktuelle Gletscherrand gelegen), sodass verschiedenes hoch gelegenes Kulturland verloren ging; zahlreiche gut ausgebildete Endmoränen vor den heutigen Gletscherrändern zeugen davon, die auch in der Jöklaort af Íslandi 1:500000 (SIGURÐSSON et al. 2013) dargestellt sind. In Südisland sank die Firnlinie von etwa 1.100 m auf etwa 700 m (ÞÓRARINSSON 1974, in BJÖRNSSON & PÁLSSON 2008). Möglicherweise bildete sich auf der Nordwesthalbinsel kurzfristig der Gláma- oder Glámujökull aus, von dem nicht klar ist, ob sich in ihm plastisches Gletschereis gebildet hatte oder ob es nur größere zusammenhängende Schneefelder waren; obwohl auf einigen historischen Karten verzeichnet, gibt es keine belastbaren Belege für seine Existenz (SIGURÐSSON & WILLIAMS, JR. 2008, S. 84). Mit dem 20. Jahrhundert setzte ein deutlicher Rückzug aller Gletscher aus diesen Maximalpositionen ein.

### Aktuelle Gletscherdynamik

Der Gletscherrückgang der vergangenen hundert Jahre korreliert stark mit der allgemeinen globalen Erwärmung. Während einer kühleren Phase in den 1960er-Jahren kam es zu einer Abschwächung des Rückganges, einige steile Gletscher stießen um 1970 sogar kurzfristig wieder vor. Mit der verstärkten Erwärmung seit 1995 ziehen sich allerdings alle Gletscher, die nicht gelegentlich von Surges betroffen sind (s.u.), deutlich – z.T. mit Raten von bis zu 100 Metern pro Jahr – zurück. Während des zuletzt dokumentierten Beobachtungszeitraumes 2011/12 wiesen der Leirufjarðarjökull (-145 m; im Drangajökull-System), der östliche Hagafellsjökull (-150 m; im Langjökull-System), der Steinsholtsjökull (-235 m; im Eyjafjallajökull-System), der Sléttjökull (-168 m; im Mýrdalsjökull-System) sowie der westliche Skeiðarárjökull (-190 m) und der Breiðamerkurjökull (bei Fellsfjall) (-937 m; beide im Vatnajökull-System) die höchsten letztjährigen Rückzugsraten auf (SIGURÐSSON 2013).

Die Auslassgletscher des Vatnajökull haben seit dem Höchststand am Ende der Kleinen Eiszeit zwei bis fünf Kilometer Länge verloren; der größte isländische Gletscher ist somit um etwa 300 km<sup>3</sup> geschrumpft, was etwa einen Millimeter Meeresspiegelanstieg bedeutet (BJÖRNSSON & PÁLSSON 2008). Diese Rückgänge sind vor allem auf die gestiegenen Sommertemperaturen zurückzuführen; Veränderungen bei den Niederschlägen scheinen keine besondere Bedeutung zu haben.

Beträchtliche Teile der isländischen Gletscher neigen zu Surges, d.h. zu plötzlichen erheblichen Vorstößen (wie sie vor allem auch von Gletschern im hoch-ozeanischen Alaska und Westkanada bekannt sind). Der Brúarjökull, ein Auslassgletscher im Norden des

Vatnajökull, wies im Jahr 1963 mit 125 Meter pro Tag die höchste, jemals exakt gemessene Surge-Geschwindigkeit (JISKOOT 2011) auf. Die Ursachen dafür sind noch unklar; wahrscheinlich ist ein abruptes Umstellen des subglazialen Abflusssystems, möglicherweise durch gleichzeitige hohe Schneefälle im Nähr- und Regenfälle im Zehrgebiet, die das Massenbilanzverhältnis kurzfristig ins Ungleichgewicht bringen, dafür verantwortlich. Bis 2003 konnten in 26 Gletschern bzw. Teileinzugsgebieten der großen Plateaugletscher etwa 80 Surges identifiziert werden; der historisch erste geht auf das Jahr 1625 am Brúarjökull zurück (BJÖRNSSON et al. 2003 in BJÖRNSSON & PÁLSSON 2008).

Eine besondere Eigenart isländischer Gletscher ist der Umstand, dass große Flächen von ihnen über aktiven Vulkangebieten liegen (s.o.). Bei subglazialen Vulkanausbrüchen wird aus sehr schnell abkühlender Schmelze das für das isländische Hochland charakteristische, überwiegend jungquartäre Palagonitgestein gebildet; beim Durchdringen der Eisdecke kommt es zu sehr aschereichen phreatomagmatischen Eruptionen, wie z.B. zuletzt beim zweiten Ausbruch des Eyjafjöll unter dem Eyjafjallajökull im Jahr 2010. In jedem Fall wird bei subglazialen Eruptionen eine sehr große Menge an Schmelzwasser produziert, das – je nach den subglazialen Reliefverhältnissen – sehr unmittelbar und mit enormen Abflussraten ins Umland abfließt. Diese sog. Gletscherläufe oder »jökulhlaups« (isländ.) betreffen in der Regel überwiegend die Sanderflächen des Mýrdalsjökull und des Skeiðarárjökull im Süden und das Tal der Jökulsá á Fjöllum im Nordosten.

Die sechs subglazial gelegenen Geothermalgebiete produzieren kontinuierlich jährlich einen Abfluss von etwa 1 km<sup>3</sup> Schmelzwasser und verursachen lokale Absenkungen der Gletscheroberfläche wie z.B. über den Grímsvötn im Zentralbereich des Vatnajökull.

Einzigartig sind allerdings die plötzlichen Abflüsse (innerhalb von wenigen Stunden oder Tagen) bei subglazialen Vulkanausbrüchen (aus gegenwärtig 15 identifizierten möglichen Jökulhlauf-Quellen), bei denen in dieser Frist einige km<sup>3</sup> Wasser frei gesetzt und enorm viel Sediment und z.T. hausgroße Eisbrocken abtransportiert werden. Die Sanderflächen Südislands sind nicht zuletzt wegen der Gletscherläufe die größten der Erde. Beispielsweise schmolzen zu Beginn des Gjalp-Ausbruchs 1996 im Vatnajökull im Kontaktbereich des Gletschers mit dem Vulkan pro Sekunde 5.000 t Eis. Bei Jökulhlaups können Abflussraten von 10.000 bis 300.000 m<sup>3</sup> Wasser pro Sekunde erreicht werden (GUÐMUNDSSON 2011) (zum Vergleich: Die mittlere Abflussmenge des Amazonas an seiner Mündung beträgt etwa 206.000 m<sup>3</sup> pro Sekunde!). Der Gletscherlauf, ausgelöst durch den Ausbruch der Katla im

Jahr 1918 führte schätzungsweise 3 bis 5 km<sup>3</sup> Wasser mit Abflussraten von bis zu 200.000 m<sup>3</sup> pro Sekunde ab. Und der größte Gletscherlauf, der vor etwa 2500 Jahren durch das Tal der Jökulsá á Fjöllum »geschossen« ist, wird auf eine Wassermenge von 10 km<sup>3</sup> und Spitzenabflussraten von 500.000 bis 900.000 m<sup>3</sup> pro Sekunde geschätzt (THORDARSON & HÖSKULDSSON 2014, ALHO et al. 2005).

### Ökonomische Bedeutung

Islands Gletscher haben eine nicht zu überschätzende Bedeutung für die Nutzung von Wasserkraft, die für die isländische Wirtschaft essentiell ist. Zwar fällt das Schmelzwasser saisonal sehr unterschiedlich an; größere Stauseebauten magazinieren allerdings den spätsommerlichen Gletscherabfluss. Die Staudammgroßprojekte, besonders das Kárahnjúkar-Kraftwerk am Nordrand des Brúarjökull, sind jedoch aus ökologischen, aber auch aus ökonomischen Gründen umstritten. In den kommenden fünfzig Jahren wird wegen der verstärkten Gletscherschmelze (s.u.) der Anfall an Schmelzwasser, ggf. auch zur Elektrizitätsgewinnung, zunehmen, jedoch gegen Ende des Jahrhunderts dann drastisch abnehmen.

Die gelegentlich auftretenden, gewaltigen Gletscherläufe stellen eine besondere Gefahr für die Verkehrsinfrastruktur, besonders für die national wichtige Ringstraße in Südisland, dar, auf die mit umfangreichen Baumaßnahmen, v.a. zum Schutz der Brücken, und Notfallplänen reagiert wird.

Die Gletscher Islands haben darüber hinaus verständlicherweise ein beträchtliches touristisches Potenzial. Seit 2008 existiert der Nationalpark Vatnajökull, in dem nicht nur der größte Gletscher selbst, sondern verschiedene benachbarte Vulkangebiete auf etwa 12.000 km<sup>2</sup> höchsten Schutz genießen und stellenweise durch informative Exkursionen örtlicher Anbieter erschlossen werden.

### Ausblick

Vorhersagen zur zukünftigen Gletscherentwicklung auf Island unter dem Einfluss der globalen anthropogen verursachten Klimaerwärmung lieferte aufgrund von regionalen Temperatur- und Niederschlagsmodellierungen das *Nordic Project Climate and Energy* (zit. bei BJÖRNSSON & PÁLSSON 2008). Danach werden das Volumen des Hofs- und der südliche Vatnajökull in den kommenden 50 Jahren um 25% und der Langjökull um

35% schrumpfen; vom Hofs- und Vatnajökull bleiben in 200 Jahren nur noch wenige vergletscherte Bergspitzen übrig, und der Langjökull wird in 150 Jahren gänzlich verschwunden sein. Der Zustand wird dann mehr oder weniger dem während des holozänen Klimamaximums im Atlantikum ähneln.

### Literatur

- ALHO, P., A. J. RUSSELL, J. L. CARRIVICK & J. KÄY-HKÖ (2005): Reconstruction of the largest Holocene jökulhlaup within Jökulsá á Fjöllum, NE Iceland. – *Quaternary Science Reviews* 24, 2319-2334.
- BJÖRNSSON, H. (1979): Glaciers in Iceland. – *Jökull* 29, 74-80.
- BJÖRNSSON, H. & F. PÁLSSON (2008): Icelandic glaciers. – *Jökull* 58 (Special issue: The dynamic geology of Iceland), 365-386.
- EYTHORSSON, J. (1931): On the present position of the glaciers in Iceland. – *Soc. Sci. Isl.* 10, Reykjavík, 35 S.
- GUÐMUNDSSON, A. T. (2011): Lebende Erde. Facetten der Geologie Islands. – *Mál og Menning*, Reykjavík, 408 S.
- JISKOOT, H. (2011): Glacier Surging. - In: SINGH, V. P., P. SINGH & U. K. HARITASHYA (Hrsg.): *Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers*, Springer, Dordrecht, 415-428.
- NORÐDAHL, H., Ó. INGÓLFSSON, H. G. PÉTURSSON & M. HALLSDÓTTIR (2008): Late Weichselian and Holocene environmental history of Iceland. - *Jökull* 58 (Special issue: The dynamic geology of Iceland), 343-364.
- ÓLAFSDÓTTIR, TH. (1975): Jökulgarður á sjávarbotni út af Breiðafirði. – *Náttúrufræðingurinn* 45, 31-36.
- SIGURÐSSON, O. (2013): Jöklabreytingar 1930-1970, 1970-1995, 1995-2011 og 2011-2012. – *Jökull* 63, 118-122.
- SIGURÐSSON, O. & R. S. WILLIAMS, JR. (2008): *Geographic Names of Iceland's Glaciers: Historical and Modern*. – U. S. Geological Survey, Professional Paper 1746, Reston (VA), 225 S.
- SIGURÐSSON, O., R. S. WILLIAMS, JR. & VÍKINGS-SON, S. (2013): Jöklaort af Íslandi 1:500000. – *Veðurstofa Islands*, Reykjavík.
- THORDARSON, T. & A. HÖSKULDSSON (2014): *Iceland*. – *Classic Geology in Europe* 3, 2. Aufl., Dunedin, Edinburgh, 256 S.
- ÞÓRARINSSON, S. (1960): Glaciological knowledge in Iceland before 1800. A historical outline. – *Jökull* 10, 1-18.
- VENZKE, J. F. (1985): Überblick über die Gletscher Islands und deren Erforschung. – *Deutsch-Isländisches Jahrbuch* 9, Köln, 83-96.

### Kontakt:

Prof. Dr. Jörg-Friedhelm Venzke  
Universität Bremen - Institut für Geographie  
jfvenzke@uni-bremen.de

Venzke, J.-F. (2015): *Holozäne und aktuelle Gletscherdynamik im subarktischen und vulkanischen Milieu Islands*. In: Lozán, J. L., H. Grassl, D. Kasang, D. Notz & H. Escher-Vetter (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Das Eis der Erde*. pp. 119-122. Online: [www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de](http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de). doi:10.2312/warnsignal.klima.eis-der-erde.18