



Dr. Maria Wastl und die Mitautoren dieses Beitrags beschäftigen sich als Mitglieder der Arbeitsgruppe Island mit Fragen zur Landschafts- und Klimageschichte dieses Raums.

Entwicklung und Eichung eines Meereis - Klima - Gletscher Modells für Nordisland

von Maria Wastl, Thomas Geist, Clemens Geitner, Gertraud Meißl, Johann Stötter

1 Projektziel¹

Knapp südlich des Polarkreises gelegen bildet Island das größte Landökosystem im nördlichen Nordatlantik und damit auch die bedeutendste Quelle terrestrischer Proxydatenreihen für klimatische Veränderungen in diesem Raum. Wichtige atmosphärische und ozeanische Grenzen wie die Polarfront oder die südliche Verbreitungsgrenze der Treibeises im Nordatlantik schwanken in ihrer Lage um Island. Dieser Raum nimmt damit eine Schlüsselposition für das Verständnis des nordatlantischen atmosphärischen und ozeanischen Zirkulationsystems ein, das das Klima weiter Teile Europas maßgeblich steuert.

Die etwa 250 kleinen Kar- und Talgletscher auf den Halbinseln Tröllaskagi und Flateyjarskagi in Nordisland (Abb. 1) reagieren sehr rasch (Dimension 10^0 - 10^1 a)

auf Änderungen der Temperatur- und Niederschlagsbedingungen und liefern somit hochauflösende klimatische Proxydaten.

Die gletscherrelevanten Klimaparameter in Nordisland weisen eine starke Abhängigkeit von der Meereisverbreitung um Island auf (Stötter et al., 1999). Letzere ist daher ein wichtiges Element für die Kalibrierung der Klima - Gletscher Beziehung in diesem Raum, und liefert zudem die Verknüpfung zu den übergeordneten Prozessen der nordatlantischen ozeanischen Zirkulation.

¹ Finanzierung: Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Projekt P14093-GEO)
Projektlaufzeit: 04/2000 - 03/2003
Projektleitung: Prof. Dr. Johann Stötter
Projektmitarbeiter: Dipl.-Geogr. Thomas Geist, Dr. Clemens Geitner, Maria Grießer, Stephan Jenewein, Dr. Gertraud Meißl, Thomas Mölg, Andrew Moran, Ronald Schmidt, Dr. Maria Wastl
Zusammenarbeit: Dr. Helgi Björnsson, Jarðeðlisfræðistofa, Raunvísindastofnun Háskólans (Geophysics Division, Science Institute, University of Iceland), Reykjavík; Dr. Þór Jakobsson, Veðurstofa Íslands (The Icelandic Meteorological Office), Reykjavík; Dr. Trausti Jónsson, Veðurstofa Íslands (The Icelandic Meteorological Office), Reykjavík; Dr. Oddur Sigurðsson, Orkustofnun (National Energy Authority), Reykjavík; Prof. Dr. Jörg-Friedhelm Venzke, Institut für Geographie, Universität Bremen

In den letzten Jahren wurde eine detaillierte holozäne Gletschergeschichte für Nordisland erarbeitet (Wastl, 2000). Sie zeigt, dass diese Gletscher in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts eine Größe erreichten, die mit den maximalen Vorstößen seit dem Ende des Präboreals vergleichbar ist. Während das Grundmuster der Klima - Gletscher Beziehung in Nordisland bekannt ist (vgl. Abb. 2), fehlt für quantitative paläoklimatische Rekonstruktionen auf Grundlage der gletschergeschichtlichen Proxydaten jedoch die detailliertere Modellierung und Kalibrierung des Zusammenhangs zwischen Klimaparametern und Gletscherverhalten.

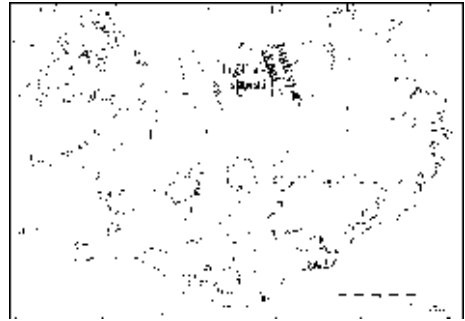


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebiets in Nordisland.

Vor diesem Hintergrund ist das Ziel des Forschungsvorhabens die Entwicklung und Eichung eines quantitativen Modells zur Beziehung zwischen der Meereisverbreitung, den Temperatur- und Niederschlagsbedingungen sowie der Gletscherausdehnung in Nordisland für den Zeitraum seit dem Beginn durchgehender und homogener Temperatur- und Niederschlagsmessreihen Mitte des 19. Jahrhunderts.

Meereis	Temperatur	Niederschlag		Gletscher	
				Schneegrenze	Ausdehnung
+	-	-	⇒	-	+
-	+	+	⇒	+	-

Abb. 2: Zusammenhang zwischen Meereisverbreitung, Klima (Temperatur/Niederschlag) und Gletscherverhalten in Nordisland (Stötter et al., 1999).

2 Methodischer Ansatz

Das im Rahmen dieses Forschungsprojekts entwickelte Klima - Gletscher Modell soll die quantitative Rekonstruktion von Klimaparametern aufgrund gletschergeschichtlicher Proxydaten für den Zeitraum vor Beginn instrumenteller meteorologischer Aufzeichnungen in Island erlauben. Der gewählte Modelltyp ist ein Gradtag-Massenhaushalts-Modell, das einen Zusammenhang zwischen Ablation und Akkumulation auf Höhe der Schneegrenze als Funktion von Sommertemperatur und Winterniederschlag herstellt.

2.1 Datengrundlagen

2.1.1 Meteorologische Daten

Die meteorologischen Daten umfassen (i) die offiziellen Temperatur- und Niederschlagsmessreihen (durchgehende Reihen für Stykkishólmur seit 1845, Grímsey seit 1873, Akureyri seit 1881 und Siglunes seit 1943 sowie ergänzende Daten von einer



Abb. 3: Gljúfurárjökull auf Tröllaskagi.

Reihe von Stationen in Nordisland), die von Björnsson (1971, 1972) für zwei glaziologische Jahre (1967/68 und 1968/69) am Bægisárjökull auf Tröllaskagi durchgeführten meteorologischen Messungen und die Temperaturmessungen im Rahmen dieses Projekts sowie (ii) die offiziellen Meereisaufzeichnungen.

Die offiziellen meteorologischen und Meereisdaten werden von Veðurstofa Íslands (The Icelandic Meteorological Office) zur Verfügung gestellt. Aus letzteren wird ein regionaler Meereis-Index entwickelt, der ein Maß für die Treibeisverbreitung im Seegebiet nördlich von Island darstellt.

2.1.2 Gletscherdaten

Die Gletscherdaten umfassen (i) die glaziologischen Messungen von Björnsson (1971, 1972) am Bægisárjökull sowie einfache Massenhaushaltsuntersuchungen an ausgewählten Gletschern im Rahmen dieses Projekts und (ii) eine Aufnahme aller Gletscher in Nordisland (Tröllaskagi und Flateyjarskagi Halbinseln) unter Verwendung eines Geographischen Informationssystems (GIS) sowie die Rekonstruktion der Gletschergeschichte seit dem *Little Ice Age* Maximalstand auf Grundlage der Kartierung und Datierung der Moränen in ausgewählten Gletschervorfeldern.

Das Gletscherkataster für Nordisland dokumentiert den aktuellen Stand der Vergletscherung. Die Ermittlung der glaziologischen Parameter nach den Vorgaben des *World Glacier Inventory* (vgl. IAHS(ICSU)-UNEP-UNESCO, 1989) stützt sich dabei auf die Kartierung der Gletscher auf Grundlage der jüngsten Luftbilder des Untersuchungsgebiets (Sommer 1994 für Tröllaskagi, Sommer 1986 und 1992 für Flateyjarskagi) sowie auf die umfangreiche Überprüfung und Ergänzung der Luftbildauswertung im Gelände.

Die Rekonstruktion der Gletschergeschichte umfasst sowohl die *Little Ice Age* Maximalausdehnung der Gletscher, die in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhundert erreicht wurde, wie die Vorstöße, die durch Moränen in den Gletschervorfeldern dokumentiert sind. Mit Hilfe des GIS werden für die entsprechenden Gletscherstände die für das Klima - Gletscher Modell benötigten glaziologischen Parameter (Gletscher-

fläche, Lage der Schneegrenze) berechnet. Die Rekonstruktion der Gletschergeschichte basiert auf der geomorphologischen Kartierung der Gletscher und Gletschervorfelder (Luftbildauswertung und Überprüfung im Gelände). Da es praktisch keine Bild- oder Schriftquellen über frühere Gletscherstände in Nordisland gibt, erfolgt die Datierung der Moränen mit Hilfe der Lichenometrie.

2.1.3 Topographische Daten

Die topographischen Daten bestehen aus einem digitalen Geländemodell (DGM) des Untersuchungsgebiets, den gescannten Luftbildern sowie digitalen Orthophotos der relevanten Teilgebiete.

Das DGM des Untersuchungsgebiets ist für mehrere Aspekte des Projekts von Bedeutung. (i) Es ist Grundlage für die Entzerrung der Luftbilder und damit für die Erstellung von Orthophotos und Orthophotokarten. Letztere dienen sowohl der Dokumentation für das *World Glacier Inventory* als auch als Grundlage für die Überprüfung der Luftbildkartierung der Gletscher und Gletschervorfelder im Gelände. (ii) Durch den Einsatz eines DGM und eines GIS können die Parameter für das Gletscherkataster für alle Gletscher in gleichbleibender Qualität bestimmt werden. (iii) Auf Grundlage des DGM und der Geometrie der Gletscheroberfläche lässt sich die Lage der Schneegrenze sowohl für die aktuelle Situation wie für die durch die Moränen in den Gletschervorfeldern dokumentierten Gletscherstände bestimmen, wobei mögliche bearbeiterabhängige Fehler herkömmlicher Rekonstruktionen vermieden werden.

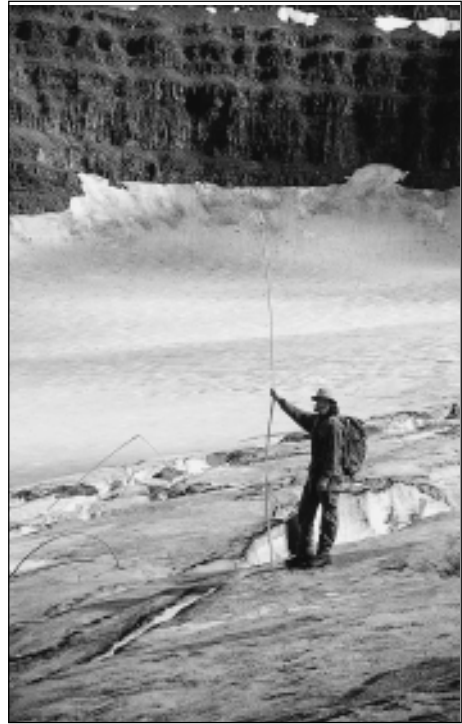


Abb. 4: Ablationspegel am Gljúfurárjökull.

2.2 Geländearbeit

2.2.1 Meteorologische Messungen

Da die offiziellen meteorologischen Stationen nur wenig über dem Meeresspiegel liegen, dient ein Netz von automatischen Temperaturschreibern in unterschiedlichen Höhen und unterschiedlicher Entfernung vom Meer auf Tröllaskagi der Bestimmung und räumlich-zeitlichen Differenzierung des thermischen Höhengradienten. Zwei automatische Wetterstationen liefern darüber hinaus Daten über Temperatur, relative Feuchte, Strahlung sowie Windgeschwindigkeit und -richtung im Bereich der Schneegrenze.

2.2.2 Glaziologische und glazialgeomorphologische Untersuchungen

An vier ausgewählten Gletschern entlang eines N - S maritim - kontinentalen Profils auf Tröllaskagi (Brimnesdalsjökull ca. 66°03'N, 18°36'W, Hálsjökull ca. 65°52'N, 18°27'W, Gljúfurárjökull (Abb. 3) ca. 65°43'N, 18°39'W und Bægisárjökull ca. 65°36'N, 18°23'W) werden Messungen der Winterakkumulation und Sommerablation durchgeführt. Die Winterakkumulation wird Ende April/Anfang Mai mit Hilfe von Schneeschächten bestimmt, die Messung der Sommerablation erfolgt im September mittels Ablationspegeln (Abb. 4).

Die Kartierung der Gletscher und Moränen aufgrund der Luftbilddauswertung wird im Gelände überprüft und ergänzt. Gletscherränder und Moränenwälle, die sich nicht eindeutig aus dem Luftbild abgrenzen lassen, werden im Gelände mittels eines differentiellen GPS (D-GPS) eingemessen und so unmittelbar in die Gletscherdaten integriert. Die Moränen in ausgewählten Gletschervorfeldern werden lichenometrisch datiert.

Darüber hinaus dokumentieren fast 2000 im Rahmen einer Anfang September 2000 durchgeführten Befliegung aufgenommene Photos den Zustand der Vergletscherung auf Tröllaskagi und Flateyjarskagi am Ende der Ablationsperiode. Da der Sommer 2000

in Nordisland extrem schneearm war, liefern diese Bilder die beste derzeit verfügbare Grundlage für die Kartierung der Gletscher und Gletschervorfelder.



Abb. 5: Einsatz eines differentiellen GPS.

2.2.3 Topographische Vermessung

Auf den Luftbildern gut zu erkennende Punkte werden im Gelände mit Hilfe des D-GPS vermessen und liefern so zusätzliche Passpunkte für die Orthophotoerstellung.

2.3 Modellentwicklung

Die Beschreibung der Meereis - Klima - Gletscher Beziehung in Nordisland beruht auf einem Temperatur - Niederschlags Modell, das einen Zusammenhang zwischen sommerlicher Ablation und winterlicher Akkumulation an der Schneegrenze als Funktion von Sommertemperatur und Winterniederschlag herstellt. Der Massenhaushalt eines Gletschers wird damit über die klimatischen Parameter Temperatur und

Niederschlag beschrieben, die die gewünschten Output-Größen für paläoklimatische Rekonstruktionen darstellen. Das Meereis - Klima - Gletscher Modell wird durch die schrittweise Integration der im Rahmen des Projekts gewonnenen meteorologischen und glaziologischen Daten entwickelt.

Der erste Schritt der Modellentwicklung vergleicht die für die Haushaltsjahre 1966/67 und 1967/68 im Bereich der Schneegrenze des Bægisárjökull vorliegenden meteorologischen und glaziologischen Messdaten (Björnsson, 1971, 1972) mit den entsprechenden Temperatur- und Niederschlagsaufzeichnungen von Akureyri.

Die sich daraus ergebende Klima - Gletscher Beziehung (Klima - Gletscher Modell, Stufe I) wird durch die Einbeziehung der im Rahmen des Projekts für die Haushaltsjahre 1999/2000 bis 2001/2002 durchgeführten meteorologischen und glaziologischen Messungen weiter entwickelt (Klima - Gletscher Modell, Stufe II). Dies geht mit der Erweiterung der meteorologischen und glaziologischen Datenbasis über das gesamte Untersuchungsgebiet einher, was räumlich differenzierte Aussagen über Temperatur- und Niederschlagsgradienten in Nordisland ermöglicht.

Dieses verbesserte Modell wird auf rekonstruierte Gletscherstände seit dem *Little Ice Age* Maximum angewendet (Klima - Gletscher Modell, Stufe III). Für die entsprechenden Schneegrenzwerte kann damit aus den offiziellen Temperaturmessreihen und den in Schritt II bestimmten thermischen Höhengradienten die Winterakkumulation berechnet werden. Die Größenordnung sowie das räumliche und zeitliche Muster der sich daraus für die einzelnen Zeiträume ergebenden Veränderungen der Winterakkumulation werden mit den an den offiziellen meteorologischen Stationen gemessenen Winterniederschlägen verglichen.

In einem letzten Schritt wird das so entwickelte Klima (Temperatur/Niederschlag) - Gletscher Modell durch den im Rahmen des Projekts entwickelten regionalen Meer-eis-Index mit den Meereisverhältnissen vor der nordisländischen Küste in Beziehung gesetzt (Meereis - Klima - Gletscher Modell, Stufe IV).

2.4 Zitierte Literatur

- Björnsson, H. (1971). Bægisárjökull, North-Iceland. Results of glaciological investigations 1967-68. Part I. Mass balance and general meteorology. *Jökull*, 21, 1-23.
- Björnsson, H. (1972). Bægisárjökull, North-Iceland. Results of glaciological investigations 1967-68. Part II. The energy balance. *Jökull*, 22, 44-61.
- IAHS(ICSJ)-UNEP-UNESCO (1989). World Glacier Inventory - Status 1988. Haeberli, W., Bösch, H., Scherler, K., Østrem, G., Wallén, C.C. (Hrsg.).
- Stötter, J., Wastl, M., Caseldine, C. und Häberle, T. (1999). Holocene palaeoclimatic reconstruction in Northern Iceland: approaches and results. *Quaternary Science Reviews*, 18, 457-474.
- Wastl, M. (2000). Reconstruction of Holocene palaeoclimatic conditions in Northern Iceland based on investigations of glacier and vegetation history. Dissertation, Universität Innsbruck, 176 S.

3 Ergebnisse

Das im Rahmen dieses Forschungsprojekts entwickelte Meereis - Klima - Gletscher Modell für Nordisland erlaubt die quantitative Rekonstruktion von Klimaparametern aufgrund gletschergeschichtlicher Proxydaten für den Zeitraum vor dem Beginn meteorologischer Messungen und verbessert damit die Qualität holozäner paläoklimatischer Rekonstruktionen in diesen Raum. Der gewählte Modelltyp stellt eine Beziehung zwischen dem beobachteten Gletscherverhalten und den Temperatur- sowie Niederschlagsbedingungen her und gewährleistet so die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit aufgrund anderer klimageschichtlicher Proxydatenreihen in Nordisland rekonstruierten Parametern.

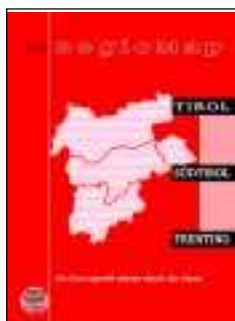
Ein zusätzliches Ergebnis der Kalibrierung der Klima - Gletscher Beziehung in diesem Raum ist die Erstellung eines GIS-gestützten nordisländischen Gletscherkatasters als Beitrag zum *World Glacier Inventory* der UNESCO.

4 Veröffentlichungen

Geist, T., Stötter, J. und Wastl, M. (2000). Development and calibration of a quantitative model describing sea-ice - climate - glacier relationships in Northern Iceland. ICELAND 2000, Modern Processes & Past Environments, International Conference, Keele University, April 27th - 29th 2000, Abstracts, 106-108.

EU Regio Map 2. Auflage **Tirol-Südtirol-Trentino**

Kompakte Karteninformation zur Europaregion Tirol



- *Topographie*
 - *Geologie*
 - *Klima*
 - *Vegetation*
- *Bodenutzung*
 - *Wirtschaft*
 - *Verkehr*
 - *Besiedlung*
 - *Geschichte*

Die ideale Grundlage für Exkursionen im Alpenraum.

38 Kartenseiten und ein knapper statistischer Überblick
um **88,- ATS** (6,40 Euro) bei Institut für Geographie, Arbeitsgr. Landeskunde

Tel. 0512/507/5431 E-Mail: geographie@uibk.ac.at oder im Buchhandel ISBN 3-901182-00-4