

Schweizer Polarforschung

Pioniergeist, Leidenschaft und
Spitzenleistungen



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



Datenaufbereitung: EDA, STS, KMZ-Geodienste
 Bemerkung: Die Darstellung von Grenzen und die Verwendung von Namen und Bezeichnungen auf dieser Karte bedeutet nicht, dass die Schweiz



«ICH HABE KEINE BESONDERE BEGABUNG, SONDERN BIN NUR LEIDENSCHAFTLICH NEUGIERIG.»

Albert Einstein

Leidenschaft und Neugierde, Wissensdurst und Pioniergeist gepaart mit einer Prise Abenteuerlust zeichneten auch die Naturforschenden und Alpinisten des Binnenlandes Schweiz aus, die ab dem 18. Jahrhundert die Arktis erkundeten. Sie legten den Grundstein für die Exzellenz der Schweiz in der Polarforschung.

Von Schweizer Forschung und Entdeckung zeugt zum Beispiel die Region «Schweizerland» in Ostgrönland, die nach ihren Entdeckern benannt wurde. Der höchste Gipfel des Berggebiets erhielt den Namen Mont Forel zu Ehren des Genfer Wissenschaftlers François-Alphonse Forel, der die Expedition unter Leitung von Alfred de Quervain 1912 massgeblich förderte und unterstützte.

Heute zählen Forschende aus der Schweiz insbesondere im interdisziplinären Bereich der Klimaforschung zur Weltspitze: Sie beteiligen sich an der Erforschung der ganz speziellen Klimabedingungen und des Ökosystems an den beiden Polen, die wir durch unseren Umgang mit den natürlichen Ressourcen beeinflussen und die wiederum Auswirkungen auf Wetter und Klima bei uns haben. Ihre Ergebnisse tragen wesentlich zum besseren Verständnis des globalen Ökosystems bei und ermöglichen nicht nur Aussagen zur Vergangenheit, sondern auch für die Zukunft unseres Planeten. Sie dienen der Politik als Entscheidungsgrundlage, um den nachfolgenden Generationen eine lebenswerte Umwelt zu hinterlassen.

Das besondere Interesse der Schweizer Forschenden an Arktis und Antarktis lässt sich auch dadurch erklären, dass Polarforschung und Höhenforschung eng miteinander verwandt sind, enger als es auf den ersten Blick scheint. Weite Teile der Schweiz wurden durch Gletscher und Eis geformt und die Alpen sind teils ganzjährig von Schnee und Eis bedeckt. Wie in der Arktis registrieren wir auch in der Schweiz einen Rückgang der Gletscher und «wärmere» Winter.

Die Polarforschung – und das zeigt diese Publikation sehr schön – ist international. Dabei ist auch in der Polarforschung der Erfolg selten auf einen Einzelnen zurückzuführen, sondern gefragt ist Teamarbeit. Für den Erfolg ist es unabdingbar, dass die Wissenschaft aus aller Welt ihre Mittel und Anstrengungen bündelt und über die nationalen Grenzen hinweg in international und multidisziplinär zusammengesetzten Teams arbeitet. Forschende aus der Schweiz beteiligen sich daran in enger Zusammenarbeit mit ausländischen Kolleginnen und Kollegen. Diese stammen überwiegend aus den acht Mitgliedsstaaten des Arktischen Rats sowie aus einem der Länder, die Vertragspartei des Antarktisvertrags sind.

Die Schweiz unterzeichnete den Antarktisvertrag 1990. Er legt fest, dass die unbewohnte Antarktis nur zu friedlichen Zwecken genutzt werden darf – insbesondere von der wissenschaftlichen Forschung und vom Tourismus. In der Antarktis ist die

Nutzung der natürlichen Ressourcen – im Gegensatz zur Arktis – untersagt.

Der Arktische Rat seinerseits wurde 1996 gegründet zum Ausgleich der Interessen zwischen den arktischen Anrainerstaaten und den indigenen Völkern. Er koordiniert Forschungsprojekte und Entwicklungsvorhaben, um den Klimaschutz und die Sicherheit in der Region zu fördern, in der bis zu zwei Millionen Menschen leben. Sowohl der Antarktisvertrag als auch der Arktische Rat verkörpern Anliegen und Ziele, die auch die schweizerische Aussenpolitik teilt: aktiv zu Stabilität und Frieden in der Welt beizutragen.

Die grosse Beteiligung der Schweiz an den Forschungsnetzen in der Arktis und Antarktis ist auch aussenpolitisch von grosser Bedeutung: Wie die Diplomatie sich darum bemüht, Türen für unsere Forschenden im Ausland zu öffnen, so tragen die Forscherinnen und Forscher mit ihrem Engagement in internationalen Teams zur weltweiten Promotion von Schweizer Spitzenleistungen in Forschung und Innovation bei.

Die Projekte dieser Broschüre zeigen, dass sie auf ganz natürliche Weise eine Rolle wahrnehmen, die in der Aussenpolitik grundlegend ist: Sie bestätigen, dass die Schweiz als weltweit führend in Wissenschaft, Innovation und Technologie, solidarisch ihren Teil an der Verantwortung dafür übernimmt, dass die grossen Rätsel unseres Planeten gelöst

und die grossen Herausforderungen unserer Existenz angepackt werden.

Die Broschüre will die Arbeit unserer Forscherinnen und Forscher einem breiteren Publikum näherbringen, damit es am «Abenteuer» Schweizer Polarforschung teilhaben kann.

Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre.



Didier Burkhalter
Bundesrat und Vorsteher des Departements für
auswärtige Angelegenheiten EDA

SCHWEIZER POLARFORSCHUNG: VON PIONIERGEIST UND SPITZENFORSCHUNG

Schweizer Forscherinnen und Forscher gehören in der Polarforschung zur Weltspitze. Das mag auf den ersten Blick erstaunen, ist doch die Schweiz ein Binnenland im Herzen Europas und keine grosse Seefahrernation. Die Geschichte zeigt jedoch, dass die Auswirkungen von Schnee und Eis auf das Alltagsleben früh das Interesse der Schweizer Forscher und Wissenschaftlerinnen für die Polarregionen weckten und insbesondere für die grossen Eisschilde in Grönland und der Antarktis. Gleichzeitig verbreitete sich im 19. Jahrhundert das Wissen, dass Gletscher von der Grösse Grönlands tatsächlich existierten. Damit sahen Forscher aus der Schweiz und anderen Ländern ihre Eiszeittheorien bestätigt, die viele der Eigenarten der Schweizer Landschaft und Topographie erklären.

1912 war für die Schweizer Polarforscher ein ausserordentliches aber auch tragisches Jahr: Einerseits gelang es dem Schweizer Arktisforscher Alfred de Quervain, als erster das Inlandeis Grönlands von West nach Ost zu überqueren. Dabei brachte er alle Expeditionsmitglieder wieder heil nach Hause. Andererseits waren Entdecker in der Antarktis aktiv. Dazu gehörte auch Xavier Mertz, Rechtsanwalt, Skirennfahrer und Bergsteiger. Er nahm an der australischen Antarktis-Expedition unter Leitung von Douglas Mawson teil, kam aber kurz vor Ende der Expedition ums Leben.

In den Expeditionsberichten werden zwar vor allem Heldentum und Abenteuer hervorgehoben, aber Ziel der Expeditionen war es immer, neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu erlangen. De Quervain und sein Team zeichneten auf ihrer Route zum Beispiel meteorologische und geomagnetische Beobachtungen auf. Sie führten Messungen durch und erfassten erstmals ein Höhenprofil des gesamten grönländischen Eisschilds – eine ausserordentliche wissenschaftliche Leistung zu dieser Zeit.

1956 wurde in Grindelwald im Berner Oberland die «Expédition Glaciologique Internationale au Groenland» (EGIG) gegründet. Die erste EGIG-Expedition mit starker Schweizer Beteiligung konnte 1959 starten. Ihr standen bereits Präzisionsinstrumente – etwa zur Vermessung des Geländes – zur Verfügung und sie erhielt Unterstützung aus der Luft. Für den Material- und Personentransport kamen Raupenfahrzeuge zum Einsatz. Die EGIG-Expedition wurde 1967/68 und in den frühen Neunzigerjahren wiederholt. So konnte untersucht werden, ob und wie sich das Inlandeis in der Zwischenzeit jeweils verändert hatte. Im gleichen Zeitraum entwickelte sich die Eiskernforschung, die Informationen über Klima und Treibhausgase früherer Zeiten liefert. Zu den Pionieren dieses Forschungszweigs gehörte der Physiker und Klimaforscher Hans Oeschger an der Universität Bern.

Die neuen technischen Möglichkeiten wie Satellitenbilder und GPS eröffneten auch der Polarforschung neue Anwendungsgebiete. Die Schweizer Forschung nutzt sie zur Beobachtung der grönländischen und antarktischen Eisschilde und leistet damit einen international wichtigen Beitrag. Trotz aller Technik bleiben jedoch Expeditionen, Feldbeobachtungen und -versuche in der Klimatologie und Gletscherkunde unerlässlich.

Heute erforschen Schweizer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auch die biologischen, chemischen und physikalischen Prozesse, die dem Aufbau und dem Funktionieren des Ökosystems im Südlichen Ozean um die Antarktis zugrunde liegen. Oder sie untersuchen die Wechselwirkung von Klima, Permafrost und Vegetation in der Tundra und den Alpen. Sie erforschen atmosphärische Zirkulation und Luftverschmutzung in den polaren Regionen und die Auswirkungen von Schnee auf das Klima. Sie entwickeln Computermodelle und rekonstruieren das Klima der Vergangenheit in Eis und Sedimenten und führen geologische Studien durch, die Informationen über die Geschichte der Eisschilde liefern.

Da die Schweiz kein eigenes Institut für Polarwissenschaften hat, arbeiten die Schweizer Polarforscherinnen und -forscher in multinationalen

Konsortien und internationalen Programmen mit oder beteiligen sich aktiv in Nicht-Regierungsorganisationen wie dem Wissenschaftlichen Ausschuss für Antarktisforschung (SCAR) und dem Internationalen Arktischen Wissenschaftsausschuss (IASC). Heute geht es nicht mehr in erster Linie darum zu entdecken und zu erkunden, sondern darum die Prozesse unseres Erdsystems zu verstehen. Insbesondere interessiert, welche Rolle die Polarregionen für unseren Planeten spielen und wie empfindlich sie auf die menschengemachte globale Erwärmung reagieren.

Im Hinblick auf diese Erwärmung wird die Polarforschung in der Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen. Zu diesem Wissen wollen die Schweizer Forscherinnen und Forscher auch weiterhin ihren Beitrag leisten. In welchen Bereichen sie bereits heute aktiv dazu beitragen, will diese Broschüre aufzeigen.



Prof. Hubertus Fischer

Im Namen der Schweizer Kommission für Polar- und Höhenforschung (SKPH), einer Kommission der Akademien der Wissenschaften Schweiz



Bohrcamp «Foxy» auf dem Grönländischen Inlandeis.
© Claudia Ryser, ETH Zürich

WIE SICH DIE KLIMA- VERÄNDERUNG AUF DEN GRÖNLÄNDISCHEN EISSCHILD AUSWIRKT

Der Grönländische Eisschild ist der zweitgrösste Süsswasserspeicher der Erde. Beobachtungen zeigen, dass die Temperatur im letzten Jahrzehnt stark anstieg, die Eisschmelze zunahm und das Eisfließen in den Ozean sich beschleunigte. Dies lässt befürchten, dass in einem künftig wärmeren Klima der Grönländische Eisschild noch mehr Eis verlieren wird. Würde der Eisschild vollständig schmelzen, stiege der Meeresspiegel um 6 Meter an.

Forschende aus der Schweiz sind wesentlich beteiligt an der Feldforschung zur Dynamik der Eisbewegung im Grönländischen Eisschild und der Schmelzprozesse an seiner Oberfläche. Schwerpunkt der Forschung sind die Veränderungen der Eismasse und die Eisdynamik an der Westküste von

Grönland. Sie sind die wissenschaftliche Grundlage für weitergehende Untersuchungen wobei auch Satelliten, die Messdaten und Bilder liefern (Fernerkundung), und Computermodelle eingesetzt werden.

Forscher der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL führen in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich und der Universität von Colorado Boulder (USA) seit 1990 in einem Langzeitprogramm Messungen bei der Station «Swiss Camp» durch. Dabei stellten sie eine Zunahme der Eisschmelze fest: Die Station im westlichen Teil des Eisschildes verzeichnet seit Messbeginn eine Erwärmung um 3 Grad Celsius und eine Verschiebung der Schneelinie um 50 km landeinwärts.

«Swiss Camp» ist auch Referenz für 18 automatische Wetterstationen, die auf dem ganzen Eisschild verteilt sind und zusammen das «Greenland Climate Network» (GC-Net) bilden. Das Netzwerk ist die Grundlage für Klimainformationen, Wettervorhersagen, die Validierung von Satelliten-Sensoren und Prozess-Studien sowie die Validierung von regionalen Klimamodellen.

Am Summit, dem höchsten Punkt des Eisschildes auf 3300 m über Meer, führen Schweizer Forscher der ETH Zürich und des WSL Langzeitmessungen zur Atmosphärenforschung durch, unter anderem am 50 m hohen «Swiss Tower». Seit dem Jahr 2000 unterhalten sie auch das Experiment «Surface Baseline Radiation Network» (BSRN). Damit werden Veränderungen des Strahlungshaushalts der Erde gemessen und erfasst, die mit dem Klimawandel einhergehen können.

Einer Gruppe von Forschern der ETH Zürich ist die Erkenntnis zu verdanken, dass eine dicke Schicht von relativ warmem Eis für die schnelle Fliessbewegung des Eisstroms vom Gletscher Jakobs-havn Isbrae verantwortlich ist. Sie führten als erste Tiefenbohrungen im Eisstrom und seiner Umgebung durch. Neuere Feld- und Modelluntersuchungen von Schweizer Forschern und US-Partnern zeigen: Die Verdoppelung der Geschwindigkeit des Eisstroms auf 14 km pro Jahr ist darauf zurückzuführen, dass die schwimmende Eiszunge den Gletscher weniger stabilisiert.

Auch im kalten Winter wird die Hälfte der Eisbewegung durch Gleiten verursacht. Während des warmen Sommers beträgt der Anteil des Gleitens gar bis zu 90 Prozent. Dies zeigen weitere Messungen der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit US-Partnern. Die Forscher bohrten vertikale Löcher von 700 Metern Tiefe bis an das Gletscherbett. Mit Sensoren am Gletscherbett und im Eis wurden Wasserdruck-Variationen und die Eisbewegung beobachtet. In diesem schwer zugänglichen Bereich kontrollieren Gleitprozesse die Geschwindigkeit des Eises und damit Form und künftige Entwicklung des Eisschildes.

KENNZAHLEN

LAND/REGION: Arktis, Grönland

VERSCHIEDENE PROJEKTE, DARUNTER:

«Real-time Observations of the Greenland Under-Ice Environment» (Echtzeit-Beobachtung der Verhältnisse unter dem Grönländischen Eisschild)

Projektdauer: 2010–2014

«Understanding long-term outlet glacier calving dynamics» (Verstehen der langfristigen Dynamik des Gletscherkalbens)

Projektbeginn: 2014

«Surface processes glacio-hydrology and englacial modeling of the Greenland ice sheet» (Glazio-hydrologische Oberflächenprozesse und Modellierung des Grönländischen Eisschildes)

Projektdauer: 1990–2014

«Climate and surface baseline radiation network monitoring on top of the Greenland ice sheet» (Netzwerk für Klima- und Oberflächenmessung der Basisstrahlung auf Grönlands Eisschild)

Projektbeginn: 2000

BUDGET: ca. 20'000'000 CHF

SCHWEIZER BEITRAG: 7'000'000 CHF

PARTNERSCHAFT: University of Colorado, Boulder USA, University of Texas, Austin USA, Dartmouth College, Hanover USA, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, USA, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt USA, University of Alaska, Fairbanks USA, Geography Department, Durham University UK.



© Christian Beutler

KONRAD STEFFEN

Professor Klima und Kryosphäre, ETH Zürich und EPF Lausanne, Direktor Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf



MARTIN LÜTHI

Dr., Senior Researcher, Glaziologie und Geomorphodynamik Gruppe, Geographisches Institut Universität Zürich, Vizepräsident der Schweizer Kommission für Polar- und Höhenforschung (SKPH) der Akademien der Wissenschaften Schweiz



© Frank Brüdern, Stallikon

ANDREAS VIELI

Professor Physische Geographie, Glaziologie und Geomorphodynamik Gruppe, Geographisches Institut Universität Zürich



Satellitenbild eines Polartiefs über dem arktischen Ozean.
© KEYSTONE/SCIENCE PHOTO LIBRARY/CHR 366 NASA/SCIENCE PHOTO LIBRARY

SCHWEIZ TRÄGT ZUR MODELLIERUNG VON POLAREN MEERES- UND LUFTSTRÖMUNGEN BEI

Intensive Wechselwirkungen von Ozean, Eis und Atmosphäre in einer topographisch komplexen Umwelt charakterisieren Wetter und Klima in den Polargebieten. Ein Beispiel dafür ist der Sommer 2012, als warme Winde aus mittleren Breiten polwärts trieben und in Grönland zu einer grossflächigen Eisschmelze führten.

Um die komplexen Strömungen im Ozean und in der Atmosphäre in den Polargebieten zu simulieren, hat die Wissenschaft Computermodelle entwickelt, die es erlauben, mit Hilfe des Computers und der physikalischen Gesetze die komplexen Strömungen im Ozean und in der Atmosphäre in den Polargebieten zu simulieren. Zusätzlich führten langjährige Beobachtungen zu globalen Datensät-

zen von hoher Qualität, so genannten Reanalysen. Sie ermöglichen aussagekräftige Studien über die polaren Luftströme.

Die Schweizer Forschung, insbesondere an der Universität Bern und der ETH Zürich, leistet in diesem Bereich einen wesentlichen Beitrag zum besseren Verständnis dieser Vorgänge und Phänomene in den Polarregionen. Dazu gehört etwa die Entwicklung eines hochauflösenden regionalen Modells für den Südatlantik, das Atmosphäre und Ozean miteinander koppelt. In anderen Projekten werden Wirkung und Einfluss von ozeanischen Strömungswirbeln auf die darüber liegende Atmosphäre erforscht, Ausbrüche antarktischer Kaltluft analysiert oder der Zusammenhang zwischen Verdunstung, Wasserdampftransport und heftigen Niederschlägen in den Polarregionen untersucht.

Viele Aspekte der Wechselwirkung zwischen Ozean und Atmosphäre auf Skalen unterhalb 100 Kilometern sind noch unbekannt. Jüngste Beobachtungen im Südlichen Ozean zeigen, dass ozeanische Wirbel mit einem Durchmesser von typischerweise 50 Kilometern und einer erhöhten oder

erniedrigten Temperatur an der Meeresoberfläche den darüber liegenden Wind, die Bewölkung und den Niederschlag beeinflussen können. Zum Beispiel ist die Wolkenbedeckung über kalten ozeanischen Wirbeln im Durchschnitt kleiner als in der Umgebung (siehe Abbildung rechts). Dank eines regionalen Modells mit horizontalen Gitterpunkten im Abstand von 10 Kilometern, das Atmosphäre und Ozean koppelt, konnte der Mechanismus dieses beobachteten Phänomens überprüft und quantifiziert werden.

Ausbrüche von Kaltluft sind spektakuläre Wetterereignisse: Kalte Polarluft strömt in grosser Menge in niedrigere Breiten (unterhalb des 50. Breitengrades) und führt zu grossen Wärmeflüssen und starker Verdunstung über dem eisfreien Ozean. Häufig kommt es dabei zu sehr intensiven kleinräumigen Wirbelstürmen, so genannten Polartiefs (siehe Abbildung links). Die Polartiefs können zu starken Winden an der Meeresoberfläche führen und zusammen mit oft starken Niederschlägen sind sie zum Beispiel eine Gefahr für Schifffahrt oder Ölplattformen. Mit Reanalysen und numerischen Modellen werden diese Kaltluftausbrüche, ihr Mechanismus, ihr Entstehen und ihr Verlauf erforscht. Ein genaues Verständnis dieser Prozesse ist unabdingbar, um die Wetter- und Klimaprognosen in den Polarregionen zu verbessern.

Der Transport von warmer und feuchter Luft zu den Polen ist wichtig für den Niederschlag und für den Erhalt der immensen Eismengen in den polaren Regionen. Dank spezieller Algorithmen können die Bewegungen des Wassers in der Atmosphäre berechnet und der Zusammenhang zwischen Verdunstung, Transport und Niederschlag untersucht werden. Messungen der stabilen Wasserisotopen-Zusammensetzung des Niederschlags helfen, die Modelle zu testen und mit der Wirklichkeit zu vergleichen. Die Forschungsergebnisse haben bereits einen wichtigen Beitrag dazu geleistet, die Klimainformationen in Eisbohrkernen aus Grönland und der Antarktis zu interpretieren.

In einer spezifischen Region (Dronning Maud Land) in der Antarktis wurden die atmosphärischen Vorgänge, die zu heftigen Niederschlägen führen, bereits im Detail analysiert. Vorboten der Niederschläge sind starke, wellenartige Störungen in ca. 10 km Höhe, die sich Richtung Antarktis ausbreiten, und anschliessend im Weddellmeer einen Wirbelsturm verursachen. Dadurch wird die feuchte Luft über dem Ozean Richtung Land geführt, wo der Luftstrom auf die steile Küste trifft und zu starken Niederschlägen führt.

KENNZAHLEN

VERSCHIEDENE PROJEKTE, DARUNTER:

CHIRP II «Modeling the water cycle in a changing climate – a multi-scale interaction challenge» (Modellierung des Wasserzyklus im sich wandelnden Klima – eine Herausforderung der Wechselwirkungen unterschiedlicher Skalen) und

SOGate «Phytoplankton ecosystem control of the Southern Ocean biogeochemical gate» (Kontrolle des Phytoplankton-Ökosystems der biogeochemischen Schranke des Südlichen Ozeans)

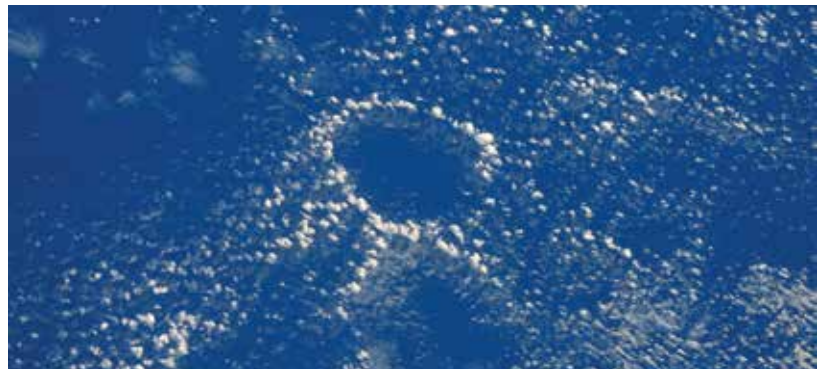
BUDGET: ca. 800'000 CHF

SCHWEIZER BEITRAG: ca. 800'000 CHF

FINANZIERUNG: ETH Zürich und Schweizerischer Nationalfonds SNF

PROJEKTBEGINN: 2010

PARTNERSCHAFT: University of Melbourne (AU), Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht (NL)



Ozeanwirbel können zu kreisförmigen wolkenfreien Flächen führen.
© Nasa Johnson Space Center

NICOLAS GRUBER

Professor Umweltphysik,
Institut für Biogeochemie und
Schadstoffdynamik, ETH Zürich

OLIVIA ROMPPAINEN-MARTIUS

Professorin, Hans-Oeschger-Zentrum
für Klimaforschung und Geographisches
Institut der Universität Bern

HARALD SODEMANN

Institut für Atmosphäre und
Klima, ETH Zürich sowie Professor
am Geophysikalischen Institut
der Universität Bergen (N)

CHRISTOPH WELKER

Dr., Hans-Oeschger-Zentrum für
Klimaforschung und Geographisches
Institut der Universität Bern

HEINI WERNLI

Professor Atmosphärendynamik, Institut
für Atmosphäre und Klima, ETH Zürich



Messung des Rückstrahlungsvermögens in der Antarktis.
© M. Schneebeli

FÜHRENDE ROLLE DER SCHWEIZ IN DER POLAREN SCHNEEFORSCHUNG

Wie wichtig Schnee in den polaren Regionen ist, zeigt sich daran, dass die einheimische Bevölkerung eine Vielzahl von Ausdrücken für jegliche Art von Schneezustand kennt. Darin unterscheiden sich die Einheimischen in der Arktis kaum von der Bergbevölkerung in den Alpen. Diese Verbindung gibt es auch in der Schneeforschung. In den letzten Jahren hat die Schweiz ihre Forschung in der Arktis und Antarktis intensiviert, um ihre weltweit führende Rolle in der Schneeforschung zur Erforschung und Lösung globaler Probleme zu nutzen. Dank der Entwicklung neuer Messmethoden und Computermodellen kann die Schweiz einen wichtigen Beitrag zur Schneeforschung an den Polen leisten.

Wasserdampf und kleine Wassertropfen kristallisieren in der Atmosphäre und so entsteht Schnee. Auf der Erde bildet der Schnee im Winter oder während

des ganzen Jahres eine feste Schneedecke und kristallisiert mehrmals wieder vollständig, wie die jüngsten Forschungsergebnisse des WSL-Instituts für Schnee und Lawinenforschung SLF zeigen. Grund dafür ist, dass sich Schnee auf der Erde sehr nahe am Schmelzpunkt befindet.

Schnee beeinflusst das globale Klima. Je nach Grösse der so genannten Schneekörner variiert auch die Reflexion des Sonnenlichts. Bei der Grössenbestimmung der Schneekörner spielen das WSL-SLF und die ETH Zürich eine führende Rolle. Ihre Forschung in Grönland (hauptsächlich an der Station «Summit», die am höchsten Punkt des grönländischen Eisschildes auf 3300 Metern über Meer liegt, und beim «Swiss Camp» im westlichen Teil Grönlands) sowie in der Antarktis brachte bahnbrechende neue Erkenntnisse über die Reflexionsfähigkeit der Schneekörner und die Strahlungsbilanz. Untersucht wurde auch, wie tief das Sonnenlicht in den Schnee eindringt. Die Ergebnisse wurden in das Schweizer Schnee- und Strahlungsbilanz-Modell «Snowpack» integriert.

Die physikalischen Eigenschaften einer Schneedecke über Permafrost im Spätwinter standen

im Mittelpunkt einer Expedition in Sibirien. Diese Eigenschaften sind massgebend dafür, wie stark der Boden gefriert. Die unter diesen klimatischen Bedingungen extrem fragilen Kristalle des Tiefenreifs können nur dank einer Kombination von Mikro-Tomographie mit numerischen Simulationen bestimmt werden.

Auch das Verständnis über den Zusammenhang zwischen Schneeverfrachtung und topographischen Gegebenheiten beruht auf Erkenntnissen der alpinen Forschung – diesmal in der Schweiz. Forschungsgegenstand waren Schneewehten und Lawinhänge, wo der Wind den Schnee umschichtet. Auch wenn sich die topographischen Verhältnisse auf Grönland und in der Antarktis vom Alpenraum unterscheiden, so bleiben die Prozesse der Verfrachtung vergleichbar.

Mit Feldstudien und Computermodellen wird untersucht, wie der Wind Schnee transportiert. Eingesetzt werden unter anderem Klima- und Wettermodelle, um zu verstehen, wie Schneeverwehungen entstehen. Schneefall und Schneefahrt wird mit sehr genauen Messmethoden wie GPS und Laser bestimmt. So können Muster über Schneeverwehungen und Wechsel in der Oberflächenrauigkeit erkannt werden, und es entstehen sehr präzise Karten. Sie zeigen im Detail die Stellen, wo sich Schnee ansammelte oder vom Winde abgetragen wurde.

Schnee ist aber auch das Originalmaterial der Eisbohrkerne, die einzigartige Klimagedächtnisse über Tausende von Jahren sind. Wie Schnee zu Eis wird, ist einer der Vorgänge, die verstanden werden müssen, um die Interpretation der Vergangenheit zu verbessern. Zwei Expeditionen in der Antarktis zeigen, dass dank der Schweizer Methoden die Ablagerungs- und Umwandlungsprozesse der Schneedecke viel besser verstanden werden.

KENNZAHLEN

LAND/REGION: Antarktis, Finnland, Grönland, Russland

BUDGET: ca. 5'000'000 CHF

SCHWEIZER BEITRAG: ca. 1'000'000 CHF

PROJEKTDAUER: 2000–2014

PARTNERSCHAFT: Alfred-Wegener-Institut für Polar und Meeresforschung D, Finnish Meteorological Institute FI, Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement F, University of Washington USA



Schneemessungen nahe der arktischen Station «Samoylov» im Lena-Delta (Nordost-Sibirien).
© M. Proksch, WSL



© M. Fitzpatrick

MARTIN SCHNEEBELI

Gruppenleiter Schneephysik,
WSL-Institut für Schnee- und
Lawinenforschung SLF, Davos



© K. Gavahan

KATHERINE LEONARD

Dr., Laboratoire des sciences
cryosphériques CRYOS, EPF, Lausanne



Forscher entnehmen in der Bellingshausen-See in der Westantarktis Schnee und Eisproben. © Katherine Leonard

AUSWIRKUNGEN DES MEEREISES AUF KLIMA UND WETTER IN EUROPA

Das Meereis auf dem Arktischen Ozean und dem Südlichen Ozean der Antarktis hat grossen Einfluss auf das globale Wetter – insbesondere seine flächenmässige Ausdehnung und der Zeitpunkt, wann das Eis jeweils am meisten und am wenigsten Fläche bedeckt. Das Gefrieren und die Salzkonzentration des Meerwassers, die sich dabei erhöht, sowie die Eisdecke sind wichtige Elemente der globalen Ozeanzirkulation und damit des langfristigen Klimas der Erde.

Satellitenaufnahmen, die dank Mikrowellen auch während des polaren Winters die Eisflächen sichtbar machen, zeigen, dass das Meereis in den letzten Jahrzehnten im Winter in der Arktis eine Fläche von 14 bis 16 Millionen km² bedeckte. Im Südlichen Ozean der Antarktis beträgt die Fläche 17 bis 20 Millionen km². Computermodelle machen

es möglich, die Grösse der Meereisflächen noch weiter zurück in die Vergangenheit und für die Zukunft zu berechnen.

Aus dieser Datenreihe, die mehr als 40 Jahre zurückreicht, geht hervor, dass die Meereisfläche auf dem Arktischen Ozean im Sommer zurückging, während sie im Winter relativ stabil blieb. Auf dem Südlichen Ozean in der Antarktis dagegen nahm die Fläche im Winter in jüngster Zeit leicht zu, wobei noch unklar ist, ob dieser Wechsel signifikant ist. Die internationale Forschergemeinschaft untersucht diese Veränderungen und den komplexen Zusammenhang mit Wetter und Klima in Europa intensiv – mit wesentlicher Beteiligung der Schweiz.

Im Mittelpunkt der schweizerischen Meereisforschung steht der Zusammenhang zwischen dem Meereis und dem globalen Wetter und Klima. Luft- und Satellitenaufnahmen (Fernerkundung) sowie Klima- und Atmosphärenmodellierung werden kombiniert mit Feldversuchen. Dabei wird vor Ort die physikalische Beschaffenheit des Eises gemessen, um die Ergebnisse der Fernerkundung und der Computermodelle besser zu verstehen

und einordnen zu können. Einen wichtigen Beitrag leisten die Schweizer Forscherinnen und Forscher auch bei der Erforschung des mechanischen Verhaltens des Meereises im Labor und der Modellierung sowie der chemischen Zusammensetzung und Feinstruktur.

Der Schweizer Forschung sind auch die hochpräzisen Instrumente zu verdanken, die die Sonneneinstrahlung und die Rückstrahlung verschiedener Oberflächen messen. Meereis – insbesondere unter einer Schneedecke – reflektiert sehr stark. Die Grösse der Eisfläche, die das Sonnenlicht reflektieren kann, ist entscheidend für die Wärmemenge, die entweder zurück ins All geschickt oder von den Ozeanen und der Atmosphäre aufgenommen wird.

In einem Nationalfondsprojekt wird derzeit in Feldversuchen untersucht, wie dick die Schneedecke auf dem antarktischen Meereis ist (vgl. Seite 12). Dafür muss man wissen, wie viel Schnee auf dem Meereis liegt, denn im Gegensatz zur Eisfläche kann das Volumen des Meereises nicht anhand von Satellitenaufnahmen bestimmt werden. Gleichzeitig interessieren auch die Fragen: Wie viel Schnee fällt auf das Meereis und wie viel in den Ozean? Woher kommt der Schnee und welche Rolle spielt er bei der Bildung und der Zunahme von Meereis?

Im Sommer schmilzt ein grosser Teil des antarktischen Meereises und wird jeden Winter wieder neu gebildet. Wenn über mehrere Jahre hinweg immer mehr Schnee fällt, könnte dies bedeuten, dass die Meereisfläche zwar gleich bleibt, sich aber die Eisbildung durch das Gefrieren von Meerwasser verringert. Dies könnte Auswirkungen auf die globale Ozeanzirkulation haben, die stark davon abhängt, wie viel kaltes Salzwasser während der Eisbildung entsteht.

KENNZAHLEN

LAND/REGION: Antarktis

VERSCHIEDENE PROJEKTE, DARUNTER:

Schweizerischen Nationalfonds SNF – Ambizione-Projekt «Antarctic precipitation, snow accumulation processes, and ice-ocean interactions» (Antarktischer Niederschlag, Schneeanreicherungsprozesse und Eis-Ozean-Interaktionen)

BUDGET: ca. 10'000'000 CHF

SCHWEIZER BEITRAG: 500'000 CHF

PROJEKTDAUER: 2012–2016

PARTNERSCHAFT: Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung D, Australian Antarctic Division, United States Antarctic Program, Woods Hole Oceanographic Institution USA, University of Colorado Boulder USA, University of Tasmania AU, Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, CNRS / Université Joseph Fourier F, British Antarctic Survey UK



Antarktisches Meer; Im Hintergrund ein Eisberg, ein abgebrochenes Stück Gletscher; im Vordergrund die blendend weisse Schneedecke und darunter das grünliche Meer.

© Martin Schneebeli



© K. Gavahan

KATHERINE LEONARD

Dr., Laboratoire des sciences cryosphériques CRYOS, EPF Lausanne
WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF, Davos
Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, University of Colorado, Boulder USA



Koreanische Antarktis-Station. «King Sejong» © Martin Vollmer

VON DER ARKTIS BIS ZUR ANTARKTIS AUF DEN SPUREN KLIMAWIRKSAMER GASE

Schweizer Forscher fahnden nach klimarelevanten Gasen von der Arktis bis zur Antarktis. Im Mittelpunkt stehen dabei Kohlenwasserstoffe mit Chlor, Fluor oder Brom. Diese Verbindungen werden hauptsächlich zur Kühlung, zur Schaumstoffherstellung, in Feuerlöschern oder als Lösungsmittel verwendet. Sie verursachen das antarktische Ozonloch und tragen zur globalen Erwärmung bei.

Jährlich gelangen gesamthaft rund eine Million Tonnen davon in die Atmosphäre, was ca. 25'000 gefüllten Eisenbahnwagen entspricht. Die atmosphärische Lebensdauer (Verweilzeit) beträgt je nach Gas von ca. 1 Jahr bis zu 50'000 Jahren. Zu diesen Gasen gehören Fluorchlorkohlenwasserstoffe, Hydrofluorchlorkohlenwasserstoffe, Halone (bromierte Verbindungen), Fluorkohlenwasserstoffe und Perfluorkohlenwasserstoffe. Sie sind in

der Erdatmosphäre jedoch nicht gleichmässig verteilt. In der nördlichen Hemisphäre sind die Konzentrationen deutlich höher, weil sich dort die grössten Quellen befinden. Da die Gase aus unseren Breitengraden die südliche Hemisphäre respektive die Antarktis erst mit einer Verzögerung von einem bis zwei Jahren erreichen, entsteht ein deutliches Nord-Süd-Gefälle in der Konzentration.

In der Arktis misst das Norwegische Institut für Luftforschung NILU die Gase an der Messstation «Zeppelin» (Ny Ålesund) auf Spitzbergen, wofür die Empa (Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt) ein spezielles Messgerät baute. Die Station ist eine von weltweit acht Messstellen im Rahmen des internationalen Projekts «AGAGE – Advanced Global Atmospheric Gases Experiment», in dem die Empa und das NILU eng zusammenarbeiten. Unter anderem ist die Art der Messung unter allen Stationen bis ins Detail abgeglichen, um vergleichbare Resultate garantieren zu können.

In der Antarktis arbeitet die Empa mit dem Koreanischen Polarinstitut KOPRI an der Station «King Sejong» auf den südlichen Shetlandinseln zusam-

men. Dort werden die Gase nicht vor Ort gemessen, sondern seit 2007 werden wöchentlich Luftproben in Flaschen abgefüllt und anschliessend bei der Empa gemessen.

Die Empa-Resultate helfen mit, die globalen Emissionen und die Verteilung der Gase zu charakterisieren und zu quantifizieren. Mit den Messungen können internationale Abkommen wie das Montreal-Protokoll oder das Kyoto-Protokoll von unabhängiger Seite verifiziert werden. So bestätigt beispielsweise die gemessene Abnahme der Fluorchlorkohlenwasserstoffe und Hydrofluorchlorkohlenwasserstoffe in der Atmosphäre direkt den Erfolg des Montreal-Protokolls. Die Messungen stützen auch die Nachricht, dass sich das antarktische Ozonloch in den letzten Jahren nicht mehr vergrössert hat und sich vermutlich in den nächsten Jahrzehnten wieder schliessen wird.

Gleichzeitig zeigt die starke Zunahme der Fluorkohlenwasserstoffe und Perfluorkohlenwasserstoffe die Probleme bei der Durchsetzung des Kyoto-Protokolls, das verbindliche Zielwerte für den Ausstoss von Treibhausgasen in den Industrieländern festlegt. Entdeckt werden auch immer wieder neue, von Menschen verursachte Gase wie die modernen fluorierten Inhalations-Anästhetika, die bei Operationen zum Einsatz kommen. Sie sammeln sich in der Atmosphäre an und lassen sich bis in die Antarktis nachverfolgen.

Die halogenierten Spurengase misst die Empa auch an der hochalpinen Station Jungfrauoch auf 3580 m über Meer im Berner Oberland, um unter anderem die schweizerischen Emissionen zu bestimmen. Dafür braucht es sehr genaue Messungen und aufwändige Computermodelle, die die Ausbreitung in der Atmosphäre beschreiben. In diese Berechnungen fliessen auch die Resultate der Polar- und anderer Stationen ein. Mit den schweizerischen Emissionsdaten werden die Zahlen verifiziert, die Industrie und Behörden bekanntgeben aufgrund von Schätzungen über Verbrauch und Ausstoss dieser Substanzen.

KENNZAHLEN

LAND/REGION: Arktis, Antarktis

PROJEKTNAME: «Globale atmosphärische Verteilung und Emissionen halogenierter Spurengase anhand von Messungen in Polar- und anderen abgelegenen Gebieten»

PROJEKTBEGINN: 2007

PARTNERSCHAFT: Korea Polar Research Institute KOPRI, Norwegian Institute for Air Research NILU, Advanced Global Atmospheric Gases Experiment AGAGE



Koreanische Antarktis-Station «King Sejong». © Martin Vollmer



MARTIN K. VOLLMER

Wissenschaftlicher Mitarbeiter,
Abteilung für Luftfremdstoffe
und Umwelttechnik, Empa



STEFAN REIMANN

Gruppenleiter Klimagase, Abteilung für
Luftfremdstoffe und Umwelttechnik, Empa



LUKAS EMMENEGGER

Leiter Abteilung für Luftfremdstoffe
und Umwelttechnik, Empa



EPICA-Camp (Dome C, Antarktis) Im grossen Zelt rechts wird gebohrt; im Container links werden die Eisbohrkerne weiter bearbeitet. © EPICA

BLICK ZURÜCK AUF FRÜHE KLIMAVERÄNDERUNGEN UND MASSSTAB FÜR DIE ZUKUNFT

Obwohl die Eiskernforschung ein relativ junges Forschungsfeld ist, hat sie enormen Einfluss auf unser Verständnis des Klimasystems und dessen Veränderungen. Die erste tiefe Eiskernbohrung gelang 1966 in Grönland. Zwei Jahre später wurde die erste tiefe Eiskernbohrung an der «Byrd»-Station in der Antarktis abgeschlossen. Teile dieses Eisbohrkerns lagern noch heute an der Universität Bern, die in der Eisbohrkernforschung eine führende Rolle spielt.

Eisbohrkerne enthalten nicht nur detaillierte Informationen über Temperaturen der Vergangenheit, sondern auch Einzelheiten über die Zusammensetzung der Atmosphäre früherer Zeiten. Insbesondere kleine Luftblasen im Eis stellen ein einzigartiges Archiv dar, das uns erlaubt, die Konzentration der Gase CO_2 (Kohlenstoffdioxid), CH_4

(Methan) und N_2O (Lachgas) zu rekonstruieren, die für den Treibhauseffekt verantwortlich sind. Tatsächlich stammen alle unsere Erkenntnisse über diese Treibhausgase – vor Beginn direkter Atmosphärenmessungen – aus Eisbohrkernen. Ein Grossteil der Messungen wurde in Bern an der Abteilung für Klima- und Umweltphysik (KUP) gemacht, die der Physiker und Klimaforscher Hans Oeschger am Physikalischen Institut der Universität gründete.

Die Schweiz beteiligt sich seit den 1960iger Jahren im Rahmen von internationalen Konsortien an tiefen Eiskernbohrungen in der Antarktis und in Grönland. Die Bohrungen in Grönland zeigten, dass in der letzten Eiszeit schnelle Klimaveränderungen die Atmosphäre in wenigen Jahrzehnten um 10–15 Grad Celsius erwärmten, was auch zur Erhöhung der CH_4 -Konzentration führte. Während der letzten Zwischeneiszeit in Grönland war es zudem vier Grad wärmer als heute

Am bisher wohl bedeutendsten Projekt, dem «European Project for Ice Coring in Antarctica» (EPICA), beteiligten sich neben der Schweiz neun weitere Staaten. So erhielt das Projekt 2007 von

der Europäischen Union auch den «Descartes»-Preis für zwischenstaatliche Zusammenarbeit. EPICA erbohrte zwei tiefe Eiskerne in der Antarktis. Einen im atlantischen Sektor der Antarktis, der Aufschluss über die Kopplung der Nord- und Südhemisphäre lieferte, und einen im indischen Ozean-sektor. Dieser ist länger und reicht mit 800'000 Jahren weiter zurück als jeder andere Eisbohrkern zuvor. Die gemeinsamen Treibhausgasstudien der Universitäten Bern und Grenoble an diesem Kern zeigten, dass vor der Industrialisierung und in den Zwischeneiszeiten die CO₂-Werte immer ein Viertel tiefer waren als heute, wo das Verbrennen von fossilen Brennstoffen und die Abholzung von Wald die Werte in die Höhe treiben.

In den letzten Jahren dehnte die KUP ihre Studien auch auf Isotope der Treibhausgase aus, um Erkenntnisse über die Prozesse zu gewinnen, die die Treibhausgaskonzentrationen kontrollieren. Das KUP analysiert Veränderungen in chemischen Aerosolbestandteilen in hoher Auflösung und erhält so Informationen über Umweltbedingungen (Ausbreitung des Meereises, atmosphärische Zirkulation, Dürre in Wüstenregionen) weit entfernt vom eigentlichen Ort der Eiskernbohrung. Alle diese Daten dienen als Prüfmarke für Klima- und biogeochemische Modelle am KUP, verbessern diese und ermöglichen somit präzisere Voraussagen für die Zukunft.

Die polaren Eisbohrkerne enthalten aber noch weit mehr Informationen und die internationale Forschungsgemeinde hat grosse Pläne für die Zukunft, wobei Schweizer Klimaforscher eine führende Rolle übernehmen. Wichtigstes Ziel ist eine Eiskernbohrung in der Antarktis, die die letzten 1,5 Millionen Jahre abdecken soll. Zu Beginn dieser Periode folgten alle 40'000 Jahre Eiszeiten auf Wärmeperioden. Seit den letzten 800'000 Jahren treten Wärmeperioden jedoch nur noch alle 100'000 Jahre auf.

Die Zielgebiete für die geophysikalischen Vorstudien einer solchen Bohrung sind bestimmt; die eigentliche Bohrung soll Ende dieses Jahrzehnts beginnen. Davon erhofft sich die Forschung neue Antworten auf grundlegende Fragen zur Funktion des Erdsystems und seiner Reaktion auf Veränderungen in der Vergangenheit. Diese Erkenntnisse sind relevant, um die möglichen Reaktionen des Erdsystems auf die heutigen Umwelteinflüsse, verursacht durch die Menschheit, abschätzen zu können.

KENNZAHLEN

LAND/REGION: Grönland, Antarktis

VERSCHIEDENE PROJEKTE, DARUNTER:

«European Project for Ice Coring in Antarctica» (EPICA) (Europäisches Eiskernbohrprojekt in der Antarktis)

BUDGET: ca. 35'000'000 Euro

SCHWEIZER BEITRAG: 3'300'000 CHF

PROJEKTDAUER: 1995–2008

PARTNERSCHAFT: Université Libre de Bruxelles B, Københavns Universitet DK, LGGE Grenoble/LSCE Saclay/Institut Polaire Paul Emile Victor F, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung D, ENEA-Progetto Antardide/ Università degli Studi di Milano Bicocca I, Utrecht Universiteit NL, Norsk Polarinstitut N, Stockholm Universitet S, British Antarctic Survey UK



Bohrkopf mit einem Eisbohrkern von 10 cm Durchmesser von der Station Dome C, Antarktis
© Jakob Schwander, Universität Bern



HUBERTUS FISCHER

Professor Klima- und Umweltphysik,
Physikalisches Institut der Universität Bern
Präsident der Schweizer Kommission für
Polar- und Höhenforschung (SKPH) der
Akademien der Wissenschaften Schweiz



THOMAS STOCKER

Professor Klima- und Umweltphysik,
Physikalisches Institut der Universität Bern
Co-Leiter der Arbeitsgruppe I
des 5. Sachstandsberichts des
Weltklimarats (Intergovernmental
Panel on Climate Change IPCC)



Heraufholen eines Kastenlots an Bord des französischen Forschungsschiffes «Marion Dufresne» südlich der Kerguelen im indischen Sektor des Südlichen Ozeans.
© Alain Mazaud, CEA, Gif-sur-Yvette F

OZEANZIRKULATION UND KLIMASYSTEM BESSER VERSTEHEN

Schweizer Forscher rekonstruieren aus natürlichen Klimaarchiven wie sich die ozeanischen Wassermassen in Zeit und Raum veränderten und untersuchen ihre Wechselwirkung mit dem Klima auf Zeitskalen von bis zu Millionen von Jahren. Ziel ist, das Klimasystem und die Ozeanzirkulation besser zu verstehen, um künftige Entwicklungen besser einschätzen zu können.

Luftblasen im antarktischen Eis zeigen, dass die atmosphärische Konzentration von Kohlendioxid (CO_2) in den letzten 800'000 Jahren während der Eiszeiten um rund ein Drittel tiefer lag als während der Warmzeiten (siehe auch Seite 18). Diese Variationen des Treibhausgases CO_2 verstärkten die Klimaveränderung zwischen Warm- und Eiszeiten wesentlich. Der Ozean speichert über 90 Prozent des Kohlenstoffs, der in der Atmosphäre, der Land-

biosphäre und im Ozean vorhanden ist. Änderungen im marinen Kohlenstoffzyklus spielten daher höchstwahrscheinlich eine entscheidende Rolle für die atmosphärischen CO_2 -Änderungen und damit für die Klimaschwankungen der letzten Million Jahre.

Während der Eiszeiten führten wohl verschiedene Prozesse zur Reduzierung des atmosphärischen CO_2 . Die Daten deuten insbesondere auf einen kleineren Austausch von Wasser und Kohlenstoff zwischen Tiefsee und Atmosphäre hin. In der Kommunikation zwischen diesen beiden Reservoirs spielt der Südliche Ozean rund um die Antarktis eine prominente Rolle. Die grossräumige Zirkulation lässt Wasser aus der Tiefe aufsteigen, während kaltes und salzreiches Wasser mit hoher Dichte von der Oberfläche in die Tiefe sinkt. Mit anderen Worten: der Südliche Ozean wirkt wie ein grosses, offenes Fenster zwischen der Atmosphäre und dem riesigen Volumen der Tiefsee.

Schweizer Forscher der Universität Bern und der ETH Zürich untersuchen dieses polare Fenster (siehe auch Seite 26) und andere wichtige klimatische Prozesse wie Veränderungen in der Nährstoffversorgung der Ökosysteme der Meere, die Verfügbarkeit von

Sauerstoff in den Tiefen des Ozeans, sowie die Rückkoppelung dieser und ähnlicher Prozesse mit den atmosphärischen Treibhausgasen und dem Klima. Dabei kombinieren sie die Information aus Messungen an marinen und terrestrischen Sedimenten und aus Computersimulationen des Klimasystems.

Die Ablagerungen im Ozean liefern Hinweise darauf, dass während des Übergangs in die Eiszeiten weniger Kohlenstoff aus den oberflächennahen Ökosystemen in die Sedimente der polaren Ozeane gelangte – inklusive des subpolaren Pazifik und seiner angrenzenden Meere – während gleichzeitig die CO₂-Konzentration abnahm. In den Eiszeiten führten die grössere Meereisfläche und die geringere Umwälzung im antarktischen Teil des Südlichen Ozeans dazu, dass sich CO₂ in den tiefen Ozean einschloss. Gleichzeitig führten trockenere und staubigere Verhältnisse an Land dafür, dass nördlich der antarktischen Polarfront mehr Eisen in den Ozean gelangte, das für die Umwandlung von Kohlenstoff in Phytoplankton benötigt wird. Die Kombination dieser beiden Phänomene bewirkte eine Abnahme von Kohlenstoff in der Atmosphäre und damit kaltes und trockenes Klima für den Planeten.

Was im Übergang zu den Zwischeneiszeiten passierte, ist weniger genau bekannt. Die bisherigen Forschungsergebnisse zeigen, dass mehr Nährstoffe aus den Tiefen des Südlichen Ozeans an die Oberfläche gelangten, als sich die Eiszeit dem Ende zuneigte. Gleichzeitig nahm das atmosphärische CO₂ rasch zu. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass sich die vorherrschenden Westwinde südwärts verschoben, als sich die südliche Hemisphäre erwärmte. Diese Verschiebung der Winde Richtung Südpol könnte der Grund dafür sein, dass vermehrt Nährstoffe und Kohlenstoff aus der Tiefe an die Meeresoberfläche gelangten. Klimamodelle zeigen jedoch, dass sich allein damit nur ein vernachlässigbar kleiner Teil des CO₂-Anstiegs am Ende der Eiszeit erklären lässt. Wahrscheinlicher ist, dass eine Änderung bei der Umwälzung in den Tiefen des Ozeans am Rande der Antarktis die wichtige Rolle beim Transport von mehr CO₂ aus dem Ozean in die Atmosphäre spielte – möglicherweise in Zusammenhang mit dem Rückzug des Meereises.

Auch Sedimentablagerungen aus Seen von entlegenen Inseln im Südlichen Ozean, die mitten im Westwindgürtel liegen, sind ein einzigartiges Archiv, das über die Windmuster Auskunft gibt. Sie ermöglichen es, die Verschiebung des Westwindgürtels zu verfolgen und geographisch einzuschränken. Änderungen im Salzgehalt, deren Spuren sich in Süsswasser-Kieselalgen nachweisen lassen, geben dabei wichtige Hinweise, wie sich Windstärke und Windrichtung im Verlauf der Erwärmung änderten.

KENNZAHLEN

LAND/REGION: Antarktis

VERSCHIEDENE PROJEKTE, DARUNTER:

Schweizer Nationalfonds SNF – SeaO2 «Past changes in Southern Ocean overturning circulation – implications for the partitioning of carbon and oxygen between the ocean and the atmosphere» (Veränderungen in der Ozeanzirkulation im Südlichen Ozean – Folgen für die Aufteilung von Eisen und Sauerstoff zwischen Ozean und Atmosphäre)

«MICLIM – High resolution reconstructions of climate variability in the sub-Antarctic during the last two millennia» (Hochauflösende Rekonstruktion der Klimaschwankungen in der subarktischen Region während der letzten zwei Millionen Jahre)

BUDGET: ca. 2'000'000 CHF

SCHWEIZER BEITRAG: ca. 2'000'000 CHF

PROJEKTDAUER: 2012–2016

PARTNERSCHAFT: Princeton University USA, McGill University CA, British Antarctic Survey UK, LSCE Paris F, Universität Gent B



Das Forschungsschiff «Marion Dufresne» ankert vor den Crozetinseln im Südlichen Ozean.
© Alain Mazaud, CEA, Gif-sur-Yvette F

SAMUEL JACCARD

Professor, Oeschger-Zentrum für Klimaforschung und Institut für Geologie der Universität Bern

NICOLAS GRUBER

Professor für Umweltphysik, Institut für Biogeochemie und Schadstoffdynamik, ETH Zürich

KRSTYNA SAUNDERS

Dr., Oeschger-Zentrum für Klimaforschung und Geographisches Institut der Universität Bern

FORTUNAT JOOS

Professor, Oeschger-Zentrum für Klimaforschung und Physikalisches Institut der Universität Bern



Uruguayische Forschungsstation «Artigas» auf der König-Georg-Insel in der Antarktis, wo Schweizer im Januar 2014 an einer Expedition teilnahmen. © Christian Schlüchter

GESCHICHTE DES ANTARKTISCHEN EISSCHILDS WICHTIG FÜR DIE ZUKUNFT

Die Antarktis ist ein einzigartiges Naturlabor, um geologische Prozesse in hohen Breitengraden zu erforschen. Weil Grösse und Bewegung des riesigen antarktischen Eisschildes von Meereshöhe, Ozeanzirkulation und globalem Klima abhängen, ist sie ein Archiv, das Daten über Klimaveränderungen der letzten zehn Millionen Jahren enthält und Auskunft gibt über Eiszeiten und Zwischeneiszeiten. Das Erstellen einer Eiszeitenchronologie ist ein entscheidender Beitrag der Antarktis-Forschung für das Verständnis der globalen Klimaentwicklung.

Will man den antarktischen Eisschild verstehen, braucht es dafür Karten. Grundlage für die Kartographie sind einerseits Luftaufnahmen und andererseits umfangreiche und detaillierte Untersuchungen der Bodenbeschaffenheit in den eisfreien Regionen, den so genannten antarktischen

Oasen. Dazu gehören etwa die Trockentäler in der östlichen Antarktis (Viktorialand), die früher von Gletschern bedeckt waren und heute schnee- und eisfrei sind, weil sie praktisch keinen Niederschlag erhalten, oder die antarktische Halbinsel, die am weitesten über den südlichen Polarkreis hinausragt und gegenüber Südamerika liegt, sowie das Transantarktische Gebirge, das die gesamte Antarktis durchquert und dessen Gipfel teilweise ebenfalls eisfrei sind. In diesen Schlüsselregionen wurden die Gletschermoränen und das alpine Gletschersystem der Antarktis weitgehend kartiert.

Am Institut für Geologie der Universität Bern wird die maximale Dicke des Gletschereises – zum Beispiel im Transantarktischen Gebirge – über die Jahrmillionen hinweg eruiert in Zusammenarbeit mit Instituten für Polarforschung in Italien, Neuseeland, den USA und Uruguay. Dazu werden die so genannten Schlifffgrenzen ausgewertet und zu Papier gebracht. Es sind Markierungen, an denen sich die jeweilige maximale Höhe des Eises während einer Vergletscherung ablesen lässt, denn die Gletscher hinterliessen auf beiden Seiten eines Tals solche Markierungen. Schlifffgrenzen sind gut sicht-

bar, weil Oberflächenbeschaffenheit und -farbe des Felsgesteins unter- und oberhalb dieser Linie unterschiedlich sind. Die so entstandenen Karten zeigen die Veränderungen der Eismasse in der Antarktis über Millionen von Jahren.

Um das Entstehen des antarktischen Eisschildes und seine Geschichte zu verstehen, braucht es aber auch eine quantitative Altersdatierung. Deshalb werden die Feldstudien mit so genannter Oberflächenexpositionsdatierung ergänzt, um das Alter der früheren Gletscherbewegungen zu bestimmen. Dank dieser Methode lässt sich ermitteln, wie lange eine Gesteinsoberfläche der kosmischen Strahlung ausgesetzt war, nachdem der Gletscher sich zurückgezogen und das Gestein freigegeben hatte.

Dabei wird im Oberflächengestein die Konzentration von kosmogenen, radioaktiven Nukliden bestimmt, die durch Kernreaktionen der kosmischen Strahlung mit Materie produziert werden. Diese Partikel haben eine so grosse Energie, dass sie die obersten paar Meter eines Gesteins auf der Erdoberfläche durchdringen können und dabei neue Elemente und Isotope bilden, die sonst im Gestein kaum vorkommen. Je älter eine Oberfläche ist respektive je länger sie der kosmischen Strahlung ausgesetzt war, desto grösser ist die Konzentration der kosmogenen Nuklide im Gestein.

Solche kosmogene Nuklide in antarktischen Gesteinsproben werden im Beschleuniger-Massenspektrometrie-Labor und im Edelgaslabor am Institut für Geochemie und Petrologie an der ETH Zürich analysiert – in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Geologie der Universität Bern und anderen nationalen und internationalen Forscherinnen und Forschern. Dabei stellte sich unter anderem heraus, dass einige Landstriche in den eisfreien Gebieten der Antarktis über zehn Millionen Jahre alt sind und die Moränenlandschaft durch mehrmalige Vorstösse von kalten Gletschern (Gletscher mit einer Eistemperatur unter dem Gefrierpunkt) entstanden ist.

Oberflächenexpositionsdatierung mittels radioaktiver Nuklide ist der Schlüssel und die einzige Möglichkeit, um die Entwicklung des antarktischen Eisschildes über die letzten Jahrtausende zu verstehen. Alle anderen Methoden decken nur kürzere Zeiträume ab.

KENNZAHLEN

LAND/REGION: Antarktis

VERSCHIEDENE PROJEKTE, DARUNTER:

Schweizerischer Nationalfonds SNF – «Glacial chronologies in high and mid latitudes: geological field and cosmogenic multi nuclide analysis» (Gletscher-Chronologien in hohen und mittleren Breiten: Geologische und kosmogene Nuklid-Analysen)

BUDGET: ca. 450'000 CHF

SCHWEIZER BEITRAG: ca. 300'000 CHF

PROJEKTBEGINN: 2008

PARTNERSCHAFT: Columbia University, New York USA, University of Maine, Orono USA, Università di Pisa, Dipartimento di Scienza de la Terra, Pisa I, Instituto Antartico Uruguayo, Montevideo UY



© Giulia Marthaler

RAINER WIELER

Professor Isotopengeochemie, ETH Zürich



SUSAN IVY-OCHS

Dr., Teilchen- / Ionenstrahlphysik, ETH Zürich



CHRISTIAN SCHLÜCHTER

Professor, Institut für Geologie und Oeschger-Zentrum für Klimaforschung, Universität Bern



Angeschwemmtes Treibholz auf Island. © Willy Tegel, Universität Freiburg D

ARKTISCHES TREIBHOLZ: ARCHIV FÜR ÄNDERUNGEN VON KLIMA UND UMWELTBEDINGUNGEN

Jahrringe von Bäumen sind ein einzigartiges Umweltarchiv. Sie speichern Informationen über die Wachstumsbedingungen in der jeweiligen Vegetationsperiode. Die Analyse der Jahrringe von Bäumen an Extremstandorten ermöglicht, das Klima vergangener Zeiten zu rekonstruieren. Da die Jahrringe genau begrenzt sind, lässt sich auch das Alter des Holzes genau bestimmen. So können Treibholz, totes Holz, ausgestorbene Baumarten oder Holz historischer Gebäude, Gemälde und archäologische Funde auf das Jahr genau zurückdatiert werden. Dazu werden Muster von bereits bestimmten Jahrringen und Referenzmuster (Referenz-Chronologien) mit dem Fund abgeglichen.

Das arktische Treibholz stammt aus den Wäldern Sibiriens und Nordamerikas: Flüsse schwemmen das Treibholz in den Arktischen Ozean, wo die

Strömungen es im Eis eingeschlossen weiter transportieren, bis es schliesslich an den eisfreien Küsten der arktischen Inseln (z.B. Grönland, Spitzbergen oder Island) abgelagert wird. Dieses Holz liefert einzigartige Informationen an der Schnittstelle der Ökosysteme zu Land und zu Wasser. Idealerweise lassen sich nicht nur das genaue Alter und die Herkunft von Treibholz bestimmen, sondern auch Veränderungen der Strömungen im Arktischen Ozean und der Ausdehnung des Eises rekonstruieren.

Dieses Treibholz untersucht die Forschungsgruppe Dendroökologie an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL in Birmensdorf. Die Untersuchungen über den Aufbau und die Wachstumszeit (holzanatomische und dendrochronologische Methoden) zeigen, dass das Treibholz vor allem von Kiefern (39%), Lärchen (26%) und Fichten (18%) stammt, die in der borealen Zone, der nördlichsten Vegetationszone auf der nördlichen Halbkugel, den Wald dominieren. Die Kiefern können als Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) klassifiziert und so eindeutig dem eurasischen Kontinent zugeordnet werden. Sie stammen zu 90 Prozent aus dem Einzugsgebiet des Flusses Jenissei

in Zentralsibirien, wo Kiefernwald vorherrscht. Dies haben die Jahrringbreitenmessungen und der Vergleich mit Wachstumskurven der gleichen Baumart (Referenz-Chronologien) am Jenissei ergeben, einem der längsten Flüsse der Welt. Sein Einzugsgebiet war das sibirische Zentrum der Holzindustrie und des Flössens. Von den 1920er Jahren bis Mitte der 1970er Jahre wurde in dieser Region besonders viel Holz geschlagen.

Gemäss der Untersuchungen wurden über die Hälfte der angeschwemmten Kiefern gefällt, da die Treibholz-Ablagerungen am Strand, im Gegensatz zu natürlich abgestorbenen Bäumen mit Wurzelstock, Schnittflächen aufweisen. Das Kieferholz kann somit als Verlustmaterial der sibirischen Holzindustrie angesehen werden, die bereits im 19. Jahrhundert ihren Anfang nahm. Mit der Industrialisierung stieg der Holzbedarf und damit nahmen auch Transport und Export zu. Gängigste Methode war dabei das Flössen der Stämme auf den grossen Flüssen, wobei anfangs bis zu 50 Prozent der Stämme verloren gingen. Ende der 1970er Jahre lagen die Verluste dann unter 1 Prozent. Seit Mitte der 80er Jahre hat das Flössen kaum noch Bedeutung.

Ein besseres Verständnis der Prozesse in der Vergangenheit trägt dazu bei, zukünftige Reaktionen des hochsensiblen Ökosystems Arktis auf sich verändernde Klimabedingungen besser abschätzen zu können. Die Treibholzforschung an der WSL hat deshalb drei langfristige Ziele:

Erstens will sie den weltweit grössten Datensatz von arktischen Treibholzproben aufbauen inklusive Artbestimmung anhand holzanatomischer Merkmale (Aufbau und Wachstum). Er soll Wissenschaftlern auf der ganzen Welt online zur Verfügung stehen und die International Tree-Ring Data Base (ITRDB) ergänzen.

Zweitens sollen die Proben jahrgenau datiert und ihre Herkunft bestimmt werden durch statistische Vergleichsanalysen mit Jahrring-Chronologien aus den borealen Wäldern Eurasiens und Nordamerikas.

Und drittens soll die Zusammensetzung des Treibholzes, die sich zeitlich und räumlich verändert, dazu dienen, die langfristigen Schwankungen der Strömungen und des Packeises im Arktischen Ozean zu rekonstruieren.

Ein besseres Verständnis der Prozesse in der Vergangenheit trägt dazu bei, zukünftige Reaktionen des hochsensiblen Ökosystems Arktis auf sich verändernde Klimabedingungen besser abschätzen zu können.

KENNZAHLEN

LAND/REGION: Arktis, Grönland, Sibirien

PROJEKTNAME: Arktisches Treibholz

BUDGET: 300'000 CHF

SCHWEIZER BEITRAG: 200'000 CHF

PROJEKTDAUER: 2012–2015

PARTNERSCHAFT: Institut für Forstwissenschaften, Universität Freiburg im Breisgau D, V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnojarsk RU, Iceland Forest Service, Reykjavik IS, Johannes Gutenberg Universität, Mainz D, Institute of Plant and Animal Ecology UD RAS, Jekaterinburg RU, North-Eastern Federal University, Jakutsk RU, Stolby National Wildlife Nature Reserve, Krasnojarsk RU, Siberian Federal University, Krasnojarsk RU, Department of Plant Pathology, University of Minnesota, St. Paul Minnesota USA



Beprobung von Treibholz mit der Kettensäge in Ostgrönland. © Willy Tegel, Universität Freiburg D

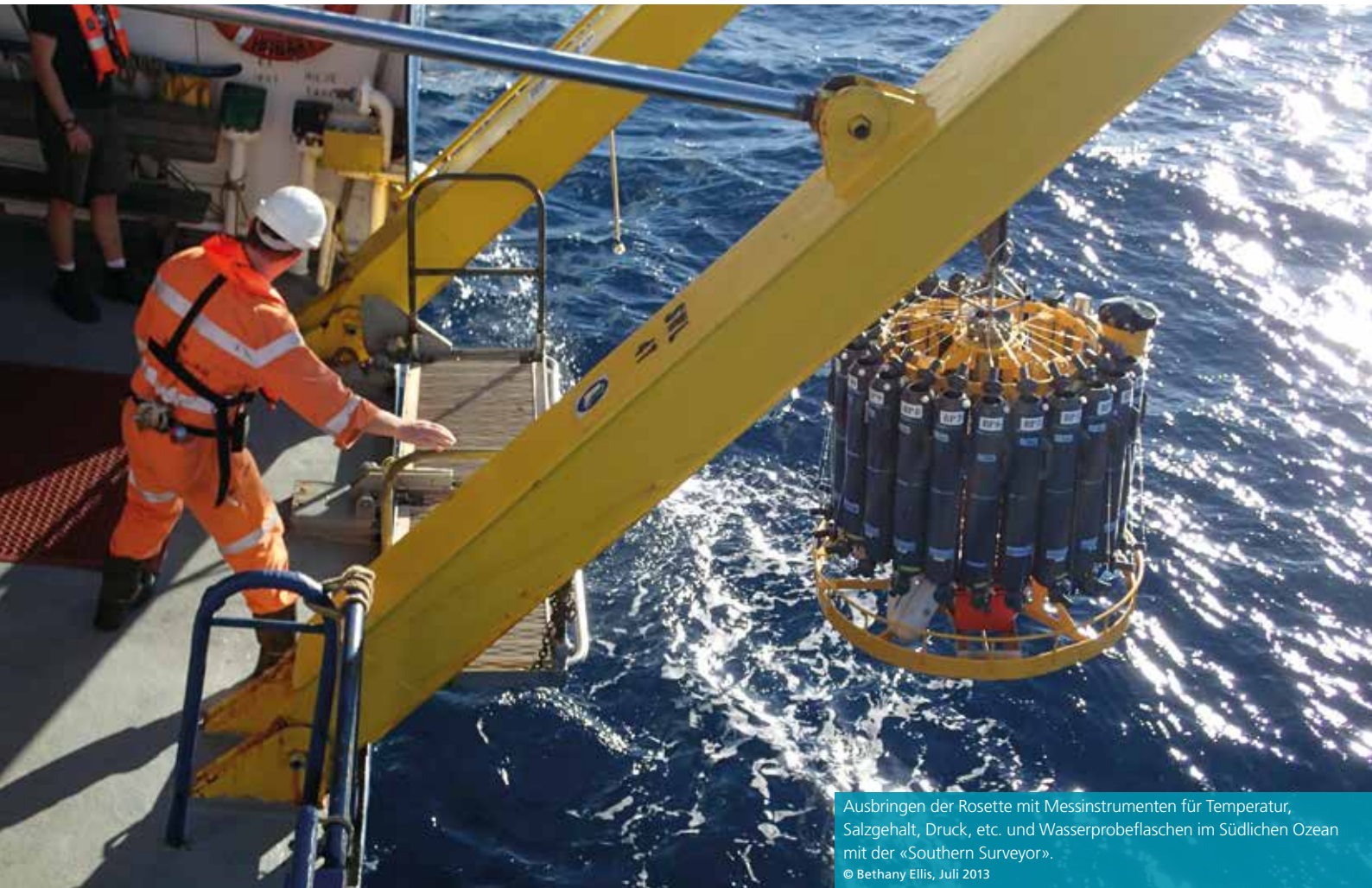


LENA HELLMANN

Doktorandin Forschungsgruppe Dendroökologie der Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf

ULF BÜNTGEN

PD Dr., Leiter Forschungsgruppe Dendroökologie der Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf



Ausbringen der Rosette mit Messinstrumenten für Temperatur, Salzgehalt, Druck, etc. und Wasserprobenflaschen im Südlichen Ozean mit der «Southern Surveyor».
© Bethany Ellis, Juli 2013

DAS POLARE FENSTER IM MITTELPUNKT DES INTERESSES

Die polaren Ozeane und insbesondere die Weiten des Südlichen Ozeans spielen im Vergleich zu ihrer Grösse eine äusserst wichtige Rolle bei der Kontrolle des globalen Kohlenstoff- und Nährstoffkreislaufs, bei der Umverteilung der Wärme und der biologischen Primärproduktion (Produktion von Biomasse durch Pflanzen, Algen oder Bakterien mit Hilfe von Licht und chemischer Energie). Die polaren Ozeane werden voraussichtlich auch am stärksten betroffen sein von Klimaveränderungen und Versauerung.

Ihre grosse Bedeutung haben die polaren Ozeane wegen ihrer Funktion als Fenster zur Tiefsee. Nur in diesen Gebieten kann ein Wasseraustausch stattfinden zwischen dem warmen Oberflächenwasser, wo Kohlen- und Nährstoffe verbraucht werden, und dem kalten Tiefenwasser, wo der grösste Teil des Kohlenstoffs und der Nährstoffe gespeichert ist. Anhand dieses Polaren Fensters lassen sich

nicht nur die unterschiedlichen Konzentrationen von Kohlendioxid (CO_2) in der Atmosphäre während der Eiszeiten und Zwischeneiszeiten erklären, sondern auch wie der (von Menschen gemachte) CO_2 -Ausstoss und überschüssige Wärme in den Ozean gelangen.

Das Polare Fenster steht denn auch im Mittelpunkt der schweizerischen Forschung, die sich mit den Kreisläufen von Kohlenstoff und anderen wichtigen Elementen beschäftigt, d.h. der Biogeochemie. Schweizer Forscherinnen und Forscher – insbesondere der ETH Zürich und der Universität Bern – haben ganz wesentlich zum besseren Verständnis des Polaren Fensters beigetragen. Mit Hilfe ihrer Beobachtungen und Computermodelle konnte unter anderem bestimmt werden, wie die polaren Ozeane CO_2 und Wärme aufnehmen, oder wie die marine Biologie das Polare Fenster im Südlichen Ozean beeinflussen kann.

Sie entwickelten hochauflösende Computermodelle, um die Rolle von Wind, Meereswirbeln und Veränderungen in der Frischwasserbilanz auf die biologische Primärproduktion der Ozeane zu

simulieren und wie sich das auf die Netto-CO₂-Bilanz zwischen Atmosphäre und Ozeane auswirkt. Dazu kommt der Einsatz von Computermodellen und Beobachtungen, um die frühere und gegenwärtige Versauerung der Ozeane zu bestimmen und Vorhersagen für die Zukunft zu machen. Untersucht wird zum Beispiel auch wieviel CO₂-Emissionen die Erde noch erträgt, ohne dass die polaren Ozeane allzu stark versauern und die gesteckten Klimaziele dennoch erreicht werden können.

Neuste Daten über den Kohlenstoffgehalt im Ozean ermöglichen Schätzungen über Aufnahme und Speicherung des menschengemachten CO₂ in den polaren Ozeanen. Die Resultate zeigen, dass der Südliche Ozean südlich des 30. Breitengrades fast die Hälfte davon aufnahm, obwohl dieses Gebiet nur 30 Prozent der gesamten Meeresoberfläche auf der Erde ausmacht. In den letzten 10 Jahren scheint die CO₂-Aufnahme stärker zugenommen zu haben, als man aufgrund der Zunahme des atmosphärischen CO₂ erwartet hätte.

Grund dafür könnte sein, dass sich die starken Westwinde nach Süden verlagert haben und sich dadurch die Meereszirkulation im Südlichen Ozean verstärkt hat. Die immer grössere Anzahl von CO₂-Messungen an der Meeresoberfläche erlaubt es auch, die Änderungen im Kohlenstoffgehalt im Inneren des Ozeans in Beziehung zu setzen mit dem CO₂-Gasaustausch zwischen Luft und Ozean. Jüngste Analysen weisen darauf hin, dass die CO₂-Aufnahme insbesondere nach dem Jahre 2000 angestiegen ist.

Von der grösseren CO₂-Aufnahme durch die Ozeane profitiert das Klima, aber sie verringert auch den pH-Wert der polaren Ozeane und ihre Sättigung mit Kalziumcarbonat (CaCO₃), was gemeinhin als Versauerung bezeichnet wird. Jüngste Forschungen zeigen, dass in der Arktis bereits in Kürze eine generelle Untersättigung von Kalziumcarbonat droht und es im Südlichen Ozean in der Antarktis in wenigen Jahrzehnten soweit sein wird. Die Versauerung und die damit verbundene Untersättigung führen zu Stress bei den betroffenen Meeresorganismen und können dem ganzen Ökosystem schaden.

Demgegenüber hatten die jüngsten klimatischen Veränderungen in der Antarktis auf die biologische Primärproduktion des Südlichen Ozeans nur geringen Einfluss. Darauf weisen die Analysen von Beobachtungen und Computermodellen hin. Im Gegensatz dazu führt die anhaltende Eisschmelze in der Arktis zu Algenwachstum an Stellen, wo die Mikroorganismen vorher nicht vorkamen.

KENNZAHLEN

LAND/REGION: Arktis, Antarktis

VERSCHIEDENE PROJEKTE, DARUNTER:

Schweizerischer Nationalfond SNF – SOGate «Phytoplankton ecosystem control of the Southern Ocean biogeochemical gate» (Kontrolle des Phytoplankton-Ökosystems der biogeochemischen Schranke des Südlichen Ozeans)

Ambizione-Projekt «Anthropogenic carbon and heat intake by the Southern Ocean» (Aufnahme von Menschen gemachtem Kohlenstoff und von Wärme durch den Südlichen Ozean)

EU-Forschungsrahmenprogramme FP7:

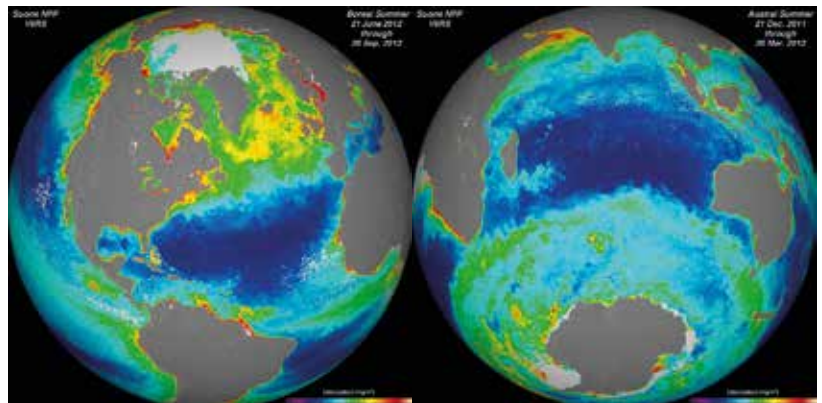
CarboChange, Geocarbon, PAST4FUTURE

BUDGET: ca. 500'000 CHF/Jahr

SCHWEIZER BEITRAG: ca. 300'000 CHF/Jahr

PROJEKTBEGINN: 2009

PARTNERSCHAFT: Princeton University USA, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung D, University of East Anglia UK, University of Bergen N



Ozeanische Chlorophyll-Konzentrationen

Das Bild zeigt die Chlorophyll-Konzentrationen in der Arktis und der Antarktis in den jeweiligen Sommermonaten. Blautöne bedeuten niedrigere Werte, Gelb- und Rottöne höhere Konzentrationen.

© NASA/Suomi NPP/Norman Kuring

NICOLAS GRUBER

Professor, Institut für Biogeochemie und Schadstoffdynamik, ETH Zürich

THOMAS FRÖLICHER

Dr., Institut für Biogeochemie und Schadstoffdynamik, ETH Zürich

FORTUNAT JOOS

Professor, Hans-Oeschger-Zentrum für Klimaforschung Universität Bern

SAMUEL JACCARD

Professor, Oeschger-Zentrum für Klimaforschung und Institut für Geologie der Universität Bern



Tafeleisberge nördlich der Antarktischen Halbinsel.
© KEYSTONE/LAIF/Andre Schumacher/laif

DIE BIOLOGIE DES SÜDLICHEN OZEANS – ARTENVIELFALT UND ÖKOSYSTEM VERSTEHEN

Die Biodiversität am Südpol wird meist mit Pinguinen und Seehunden in Verbindung gebracht, aber die wahre Schatzgrube sind die mikroskopisch kleinen Lebewesen im Wasser, die dem menschlichen Auge in der Regel verborgen bleiben. Diese Mikroorganismen sind wichtig für Klima und Biodiversität sowie die Rekonstruktion der Klimageschichte. Forschende an der Universität Genf haben sie zu ihrem Schwerpunkt gemacht.

Ein erstes Projekt befasst sich mit Phytoplankton, mikroskopisch kleinen, im Wasser freischwebenden, Algen. Sie sind dafür verantwortlich, dass eine beträchtliche Menge des weltweiten Kohlenstoff-Ausstosses von der Meeresoberfläche aufgenommen und in die Tiefen des Meeres gelangt. Sie wandeln den Kohlenstoff in organische Substanzen um und sind auch wichtig für das Funktionieren

des Ökosystems, weil sie am Anfang der Nahrungskette stehen.

Eine besondere Rolle kommt dabei dem Südlichen Ozean zu. Das Phytoplankton braucht Eisen für die Umwandlung von Kohlenstoff und für sein Wachstum; Eisen kommt aber im Ozean um die Antarktis nur beschränkt vor. In Feldstudien vor Ort und mit Laboranalysen werden die Umwandlungsprozesse untersucht – insbesondere die Wechselwirkung zwischen dem Vorkommen von Eisen und Phytoplankton. Um ein ganzheitliches Bild über die Auswirkungen des «Eisenmangels» zu erhalten, werden auch andere Mikroorganismen, die ebenfalls auf Eisen angewiesen sind, in die Untersuchungen miteinbezogen. Zum Beispiel die Wechselwirkung zwischen Bakterien und Zooplankton, das als Nahrungsquelle für Fische und viele andere Meereslebewesen ebenfalls eine wichtige Rolle spielt. Die Forschung an der Universität Genf konzentriert sich insbesondere darauf, welche Rolle Zucker (Polysaccharide) und organische Stoffe, die von Organismen ausgeschieden werden, bei der Verfügbarkeit von Eisen für die Kohlenstoffbindung spielen.

Dank dieser Forschung werden Erkenntnisse über die Beziehung zwischen dem Kreislauf von Eisen und dem Kreislauf von Kohlenstoff an der Meeresoberfläche gewonnen – einschliesslich ihrer Wirkung auf das Vorkommen von Phytoplankton, die Artenvielfalt und die Fixierung des Treibhausgases CO₂ durch Meeresorganismen.

Die Forschungsergebnisse tragen dazu bei, das Ökosystem des Südlichen Ozeans besser zu verstehen und seine Anfälligkeit auf klimatische Veränderungen besser abschätzen zu können. Sie sind für verschiedene internationale Programme, Netzwerke und Arbeitsgruppen von Bedeutung. Die Ergebnisse fliessen in die Modellierung des Ökosystems des Südlichen Ozeans und ihre Weiterentwicklung. Dieser Aspekt ist umso wichtiger, als solche Modelle heute die einzige Möglichkeit sind, um Voraussagen für die Zukunft zu machen.

Ein zweites Forschungsfeld an der Universität Genf sind Foraminiferen, einzellige mikroskopische Lebewesen, die Kalkschalen bilden. Die Forschergruppe entwickelte genetische Methoden, um Foraminiferen zu bestimmen und in Kategorien einzuteilen. So wurden im Südlichen Ozean zahlreiche neue Gattungen und Unterarten entdeckt. Hunderte von antarktischen Foraminiferen konnten klassifiziert, d.h. nach einheitlichen Kriterien in Klassen und Unterklassen eingeteilt werden. Der Wissenschaftliche Ausschuss für Antarktisforschung veröffentlichte die Ergebnisse mit Beteiligung der Schweiz im Biogeographischen Atlas des Südlichen Ozeans, der die heutige Verbreitung, erdgeschichtliche Entwicklung und die Umweltbeziehungen von Mikro- und Makroorganismen in der Antarktis aufzeigt.

Die Erforschung der Foraminiferen hilft unter anderem auch, den Einfluss des Tourismus auf das Ökosystem der Antarktis abzuschätzen. Die Schweizer Wissenschaftler beteiligen sich an der internationalen Beobachtung der antarktischen Küsten, die jährlich Hunderte von Touristenbooten besuchen. Untersucht werden die Wanderungsbewegungen der Foraminiferen zwischen dem südlichen Patagonien und der antarktischen Halbinsel. Die Untersuchungen zeigen, dass in der Antarktis vor allem einheimische Arten vorherrschen, die sich genetisch von ihren südamerikanischen Verwandten unterscheiden. Entdeckt wurden jedoch auch Arten ohne genetische Unterscheidung. Ob diese aber von Schiffen eingeschleppt oder auf natürliche Weise in die Antarktis eingewandert sind, ist jedoch noch eine offene Frage.

KENNZAHLEN

LAND/REGION: Antarktis, Südlicher Ozean

PROJEKTNAMEN: «Novel technologies to reveal the impacts of nutrients limitation in aquatic systems: from biodiversity to biogeochemical cycles» (Auswirkungen von wenig Nährstoffen auf die ozeanischen Systeme: von Biodiversität zu biogeochemischen Kreisläufen)
«Molecular diversity and evolution of Antarctic foraminifera» (Molekulare Diversität und Entwicklung der antarktischen Foraminiferen)

BUDGET: 1'600'000 CHF und ca. 5'000'000 USD

SCHWEIZER BEITRAG: 1'600'000 CHF und ca. 500'000 CHF

FINANZIERUNG: Schweizerischer Nationalfonds SNF

PROJEKTDAUER: 2012–2016 und 1998–2015

PARTNERSCHAFT: Antarctic Program USA, Polish Academy of Science PL, British Antarctic Survey UK, Alfred-Wegener -Institut für Polar- und Meeresforschung D



Antarktische Flachwasser-Foraminiferen (*Globocassidulina* sp) aus dem McMurdo-Sund.
© Jan Pawlowski



CHRISTEL S. HASSLER

Förderungsprofessur des Schweizerischen Nationalfonds SNF, Leiterin der Arbeitsgruppe Ökosysteme der Meere und Seen, Institut F.-A. Forel, Universität Genf



JAN PAWLOWSKI

Ausserordentlicher Professor, Abteilung Genetik und Evolution, Universität Genf



Schweizer Tundra Experiment in Val Bercla, Mulegns, GR
© Christian Rixen

SCHWEIZ IST TEIL DES INTERNATIONALEN TUNDRA-EXPERIMENTS ITEX

Das Internationale Tundra-Experiment ist ein wissenschaftliches Netzwerk von Experimenten, das die Auswirkungen der Klimaveränderung auf ausgewählte Pflanzengruppen in polarnahen Regionen, der Tundra und im Alpengebiet untersucht. Rund um den Globus führen Forschungsteams an über 40 Orten Feldversuche durch. Über viele Jahre hinweg beeinflussen sie mit vergleichbaren Experimenten das Pflanzenwachstum, um herauszufinden, wie die Pflanzen auf veränderte klimatische Bedingungen reagieren und wie diese sich auf ihre Entwicklung auswirken.

Das Forschungsprojekt kombiniert lang- und kurzfristige Experimente mit Beobachtungen. Es ist eine einfache Methode, um zu verstehen wie das Ökosystem auf Veränderungen reagiert und wie verwundbar es ist. Im Mittelpunkt steht dabei

langfristig der Einfluss von Temperaturerwärmung auf einzelne Pflanzenarten in einem geographisch möglichst grossen Gebiet und unter Einsatz von so wenig Technik und Ausrüstung wie möglich.

Wie umfassend die Feldversuche an den einzelnen Standorten durchgeführt werden, hängt von den Interessen und den Mitteln ab, die zur Verfügung stehen. An jedem ITEX-Standort wird aber in der einen oder anderen Form mit Erwärmung experimentiert. Die meisten Forscherteams setzen dafür offene Kammern ein (eine Art nach oben offene Treibhäuser), um so höhere Umgebungstemperaturen zu erzeugen. Die so passiv erzeugten höheren Temperaturen beeinflussen die Entwicklung der Pflanzen. Sie können sich beispielsweise auf das Wachstum, den Beginn der Blüte, Blattentfaltung oder Blattverfärbung etc. auswirken.

Ein definiertes Protokoll schreibt fest, welche Daten im Feldversuch erhoben und nach welchem standardisierten Verfahren sie gesammelt werden. Innerhalb des ITEX-Netzwerks können die Daten unterschiedlich gebündelt und ausgewertet werden – zum Beispiel werden die Lebensräume

miteinander verglichen oder die Entwicklung im Verlauf der Zeit verfolgt.

Die Ergebnisse in Kontrollflächen zeigen über alle Standorte hinweg, dass Wuchshöhe und Vielfalt der Wuchsformen weitgehend den Erwartungen aufgrund der Wärmeexperimente entsprechen. Vergleiche innerhalb der Feldversuche weisen darauf hin, dass Sträucher – insbesondere sommergrüne – sich vor allem an jenen Standorten stark ausbreiten, die sich rasch erwärmen, aber nur dort, wo bereits ziemlich warme Temperaturen herrschen. Im Gegensatz dazu reagiert die Vegetation an den kältesten Standorten relativ unempfindlich auf das wärmere Klima.

Die Schweiz beteiligt sich an der weltweiten Datenanalyse und betreut einen eigenen Standort in der Schweiz. Zudem entsendet sie Forschende an ITEX-Standorte anderer Staaten – zum Beispiel im Alexandra-Fjord in der kanadischen Arktis. In der Schweiz liegt der Versuchsstandort in Mulegns im Val Bercla im bündnerischen Surses (Oberhalbstein) zwischen Tiefencastel und Julierpass.

Der Feldversuch startete 1994 und wird seit 2009 vom WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF in Davos betreut. Die Vegetation besteht aus alpinen Polsterpflanzen, Zwergweiden, Gräsern und Seggen. Mit passiven Wärmekammern wird die Temperatur erhöht. Um die Auswirkungen der Erwärmung auf die Pflanzenwelt zu verifizieren, vergleicht das SLF die «erwärmten» Pflanzen mit der «unberührten» Natur am gleichen Standort. Das SLF will das ITEX-Experiment weiterführen, da damit zu rechnen ist, dass die Klimaveränderungen die alpine Vegetation auch in Zukunft beeinflussen werden.

KENNZAHLEN

LAND/REGION: Schweiz, Arktis

PROJEKTNAME: Schweizer Tundra-Experiment

PROJEKTBEGINN: 1994

PARTNERSCHAFT: Universitäten und Institute insbesondere aus Australien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Island, Japan, Kanada, Niederlande, Norwegen, Russland, Schweden, USA und UK



ITEX-Standort im Alexandra-Fjord in der kanadischen Arktis. © Anne Bjorkman



CHRISTIAN RIXEN

Dr., WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF



ANTARKTIS

Datenaufbereitung: EDA, STS, KMZ-Geodienste
Bemerkung: Die Darstellung von Grenzen und die Verwendung von Namen und Bezeichnungen auf dieser Karte bedeutet nicht, dass die Schw...

00° E

30° 00' 00" E

60° 00' 00" E

ER OZEAN

steinen Nunatak Station "Princess Elizabeth"

EPICA
Königin-Maud-Land

Königin-Maud-Land

Enderbyland

OSTANTARKTIS

Polarplateau

Wilkesland

EPICA Dome C

00° S

McMurdo-Sund

ktisches Gebirge

Talos Dome

ER OZEAN

90° 00' 00" E

120° 00' 00" E

Forschungsstandorte



Forschungsstation



Eiskernbohrung mit Schweizer Beteiligung

1,000 1,500 km

iz diese offiziell befürwortet oder anerkennt

0° 00' E

150° 00' 00" E

IMPRESSUM

Herausgeber:

Eidgenössisches Departement für auswärtige Angelegenheiten EDA

Politische Direktion

3003 Bern

www.eda.admin.ch

Gestaltung:

Visuelle Kommunikation EDA, Bern

Titelbild:

«Swiss Camp» auf dem Grönländischen Eisschild © Konrad Steffen

Bild auf Rückseite:

Kaiserpinguine in der Antarktis © KEYSTONE/CHROMORANGE/Peter Kirschner

Karten:

Quellen: Natural Earth, ESRI, CGIAR Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI)

Copyright: 2014 Natural Earth

Bestellungen:

Information EDA

Tel.: +41 (0) 58 462 31 53

E-Mail: publikationen@eda.admin.ch

Fachkontakt:

Abteilung Sektorielle Aussenpolitiken

Tel.: +41 (0) 58 465 14 26

E-Mail: pd-asa@eda.admin.ch

Die Broschüre entstand in enger Zusammenarbeit mit der Schweizerischen Kommission für Polar- und Höhenforschung (SKPH) der Akademien der Wissenschaften Schweiz

Die Publikation ist auch auf Französisch, Italienisch und Englisch erhältlich und kann unter www.eda.admin.ch/publikationen bestellt und heruntergeladen werden.

Bern, 2015

