

# Gletscherwandel in Polar- und Subpolargebieten

## Wie der Klimawandel den Wasserhaushalt vergletschter Regionen beeinflusst

RWTH THEMEN 1/2009

Die Erwärmung der bodennahen Luft weltweit in den letzten Jahrzehnten gilt nach vielen Jahren intensiver Klimafor- schung als gesichert. Dies lässt sich an der im vergangenen Jahrhundert um knapp ein Grad gestiegenen globalen Mittel- temperatur klar festmachen. Augenfällig zeigt sich der glo- bale Klimawandel an den klei- nen werdenden Gletschern in fast allen Gebirgen der Erde und teilweise auch in den Po- largebieten. Tatsächlich ist die Reaktion der Massenbilanz ei- ner Eismasse in komplexer Art und Weise von verschiedenen Klimaelementen wie Tempera- tur, Niederschlag, Strahlung, Windgeschwindigkeit und Luft- feuchtigkeit abhängig. Aus die- sem Grunde sind die Reaktions- muster der Gletscher auf einen Klimawandel in den verschiede- nen Klimazonen sehr unter- schiedlich. Hinzu kommt, dass veränderte thermische Bedin- gungen auch das thermische Regime im Inneren der Eisma- se beeinflussen können, was zu komplexen Veränderungen des Fließverhaltens von Gletschern führen kann. Bei Gebirgsglet- schern, wie in Teilen des Hima- laya oder in den südamerikani- schen Anden, ist unser Ver- ständnis der Veränderungen im Jahresgang des Schmelzwasser- abflusses aufgrund eines Klima- wandels wegen des Einflusses dieser Gletscher auf die Was- serversorgung im Vorland von hoher Bedeutung.

In den Polar- und Subpolar- gebieten dagegen, wo viel größere Wassermassen in Form von Eis gebunden sind, steht die Frage des Beitrags dieser Gebiete zum weltweiten An- stieg des Meeresspiegels im Zentrum des Interesses. Derzeit können ungefähr zwei Drittel des beobachteten Meeresspie- gelanstiegs auf die thermische Ausdehnung der sich erwär- menden Ozeane zurückgeführt werden. Während ein Drittel des Anstiegs auf den Beitrag von Schmelzwässern haupt- sächlich aus Gebirgsgletschern zurückgehen. Modellrechnun- gen mit gekoppelten globalen Klima-Ozean-Modellen zeigen, dass sich im Laufe des 21. Jahr-

hunderts der Anteil von Schmelz- wasser aus den Polargebieten stetig erhöht und der Anstieg des Meeresspiegels sich insge- samt beschleunigen wird. Während der Bericht 2007 des Intergovernmental Panel on Climate Change, kurz IPCC, eine Erhöhung des Meeresspiegels im 21. Jahrhundert zwischen 20 und 50 cm veranschlagt, gehen neuere Schätzungen, aufgrund des Beitrags von den großen Eismassen der Polarge- biete, von deutlich höheren Werten von über einem Meter aus. Um die Abschätzungen zu verbessern, ist letztlich ein bes- seres Systemverständnis für die Kopplung des Schmelzwasser- abflusses an sich wandelnde atmosphärische Randbedingun- gen für unterschiedliche Glet- schertypen und Lokalklimate notwendig. Diesem Fragen- komplex geht das Team am Lehr- und Forschungsgebiet Physische Geographie und Klimatologie am Geographischen Institut in verschiedenen For- schungsprojekten in Patagonien im Süden Chiles und auf der zum Svalbard-Archipel (Spitz- bergen) gehörenden Insel Nordaustlandet in der europäi- schen Arktis auf 80 Grad nörd- licher Breite nach. Die Forschungs- projekte erfolgen in Zusammen- arbeit mit der Universität Trier, der Rheinischen Friedrich-Wilhelms- Universität Bonn sowie der Technischen Universität Berlin.

Die rund 190' km große Eiskappe Gran Campo Nevado in Südpatagonien bildet einen von zwei regionalen Schwer- punkten der Gletscherfor- schung am Lehr- und For- schungsgebiet Physische Geo- graphie und Klimatologie. Im Kammbereich der südchileni- schen Anden auf 53 Grad südli- cher Breite liegt sie im Einfluss- bereich eines extrem feuchten, ganzjährig kühlen Klimas. Die Südspitze Südamerikas bildet die einzige kontinentale Barrie- re für die südhemisphärischen Westwinde und damit eine der extremsten Klimascheiden auf unserer Erde. In den Gipfelre- gionen sind bedingt durch Stauniederschläge Jahressum- men des Niederschlags von über 10.000 mm zu verzeich-

nen. Zum Vergleich: In Aachen fällt lediglich etwas über 800 mm Niederschlag im Jahr. Die hygrische Extremlage macht das Gran Campo Nevado zu ei- nem idealen Ort, um die Aus- wirkungen des Klimawandels zu untersuchen, weil hier an- steigende Temperaturen und auch deren teilweise Kompen- sation durch regional anstei- gende Niederschläge zusam- mentreffen.

Für die Beschreibung und Interpretation des gesamten Wasserhaushaltes eines verglet- scherten Einzugsgebietes ist vor allem ein Verständnis des zu Grunde liegenden komplexen hydrologischen Systems not- wendig. Das Zusammenspiel nichtlinearer Prozesse erschwert jedoch eine klare Trennung re- levanter Einflussgrößen auf das Gesamtsystem. Die Vereinfachung des Systems anhand von physikalischen, statistischen oder konzeptionellen Modellen bietet hier eine Möglichkeit, Antworten auf diese grundle- genden Fragen zu erhalten. Die Forschungsgruppe der Physi- schen Geographie und Klimato- logie setzt hierzu Künstliche Neuronale Netzwerke, kurz KNN, ein, um die regionalen Wasserhaushaltskomponenten eines kleinen vergletscherten Einzugsgebietes auf der Ostsei- te des Gran Campo Nevado näher zu untersuchen, siehe Bild 1. Zur Erfassung des Ab- flussregimes wurden Druckpe- gel eingerichtet und über das Salzverdünnungsverfahren und den Einsatz hydrometrischer Methoden geeicht. Anhand dieser Datengrundlage wurde schließlich das Modell ent- wickelt und angewendet. Im Vergleich zu gängigen statisti- schen und physikalischen Mo- dellern zeichnet sich das an der RWTH entwickelte KNN-Mo- dell durch seine hohe quantita- tive Genauigkeit bei der Vor- hersage der Abflussganglinie aus. Durch die Analyse der Mo- dellstruktur konnten weiterhin wertvolle Erkenntnisse über die dominanten Steuerungsprozes- se des Abflusses gewonnen werden. So zeigt sich trotz des hohen vergletscherten Anteils nur ein untergeordneter Einfluss

der Temperatur auf den Ab- fluss, der maßgeblich durch die hohen Niederschläge im Unter- suchungsgebiet verursacht wird.

Die Eiskappe selbst verliert in ihren äußeren und damit tiefliegenden Randgebieten deutlich und zunehmend an Masse, während die hochgele- genen, inneren Eisflächen einen fortwährenden, wenn auch nachlassenden Massenzuwachs erfahren. Dies geht aus Ver- gleichsanalysen unterschiedli- cher, auf Luftbildern und Satel- litendaten basierenden digitalen Geländemodellen verschiedener Zeitpunkte hervor. Diese Dyna- mik der Massenbilanz spiegelt wieder, dass im Zuge des Kli- mawandels regional ansteigen- de Niederschlagssummen nur zeitlich begrenzt im Stande sind, das fortschreitende Ab- schmelzen der Gletscher und damit das Schwinden wichtiger Süßwasserspeicher teilweise zu kompensieren. Im Zeitraum 1984 bis 2000 hat die Gran Campo Nevado Eiskappe im Mittel rund 0,4 m Wasserä- quivalent pro Jahr an Mächtig- keit verloren. Aktuell hat sich diese Ausdünnung für 2000 bis 2007 auf 2,6 m Wasseräqui- valent pro Jahr vervielfacht. Gleichzeitig ist der durch Mas- senzuwachs geprägte zentrale Bereich der Eiskappe flächen- mäßig um gut zwei Drittel ge- schrumpft. Der Zeitpunkt ab dem auch das Gran Campo Nevado, wie jetzt schon große Teile der weltweiten Gebirgs- gletscher, an keiner Stelle mehr an Mächtigkeit gewinnen wird, ist also absehbar, siehe Bild 2.

Diese Erkenntnis deckt sich mit Modellrechnungen, die für das 21. Jahrhundert einen kon- tinuierlich negativen Trend der Gletschermassenbilanz vorher- sagen. Während in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhun- derts noch eine positive Mas- senbilanz von im Mittel rund 1,0 m Wasseräquivalent Zu- wachs pro Jahr modelliert wur- de, erfuhr die Eiskappe in den letzten Dekaden des Jahrtau- sendes im Modell bereits eine mittlere jährliche Ausdünnung von rund 1,5 m Wasseräqui- valent. Was sich auch mit der

Bild 1: Die Grafik zeigt in schwarz den am Río Lengua gemessenen Wasserpegel in einem Zeitraum von knapp einem Jahr. Die rote Linie zeigt die Modellierung des Pegelstandes mit dem kalibrierten Neuronalen Netzwerk auf der Basis von Messwerten der Lufttemperatur und des Niederschlages.

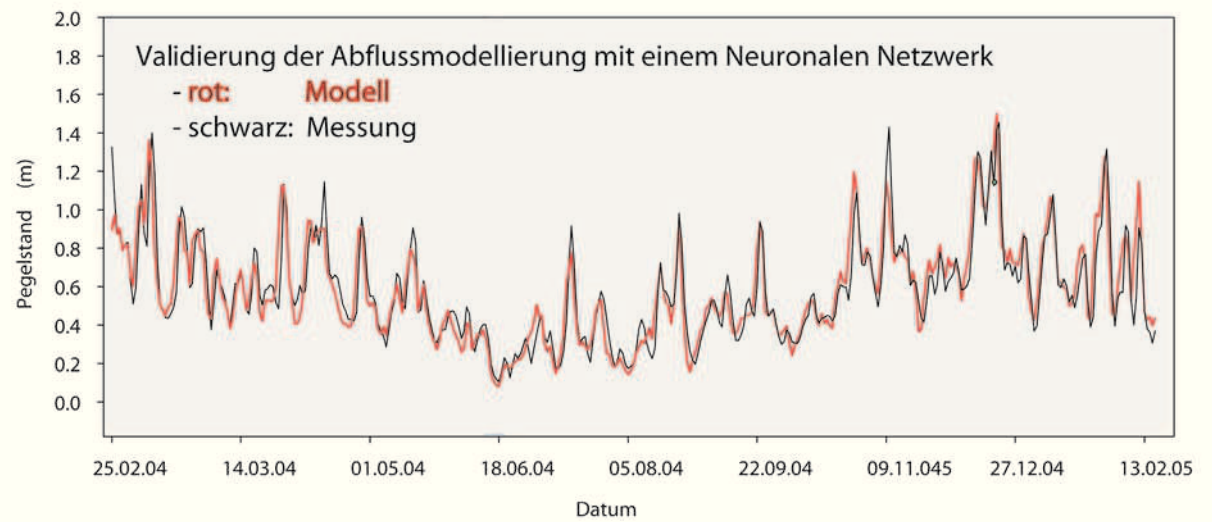


Bild 2: Die Zunge des Talgletschers Galeria, einer der Auslassgletscher des Gran Campo Nevado in Patagonien. Zu erkennen ist ein in den vergangenen Jahrzehnten entstandener und sich stetig vergrößernder See im Vordergrund, der zwischen der zurückweichenden Gletscherzunge und der Endmoräne des jüngsten Höchststandes vom Anfang des 20. Jahrhunderts liegt.



9

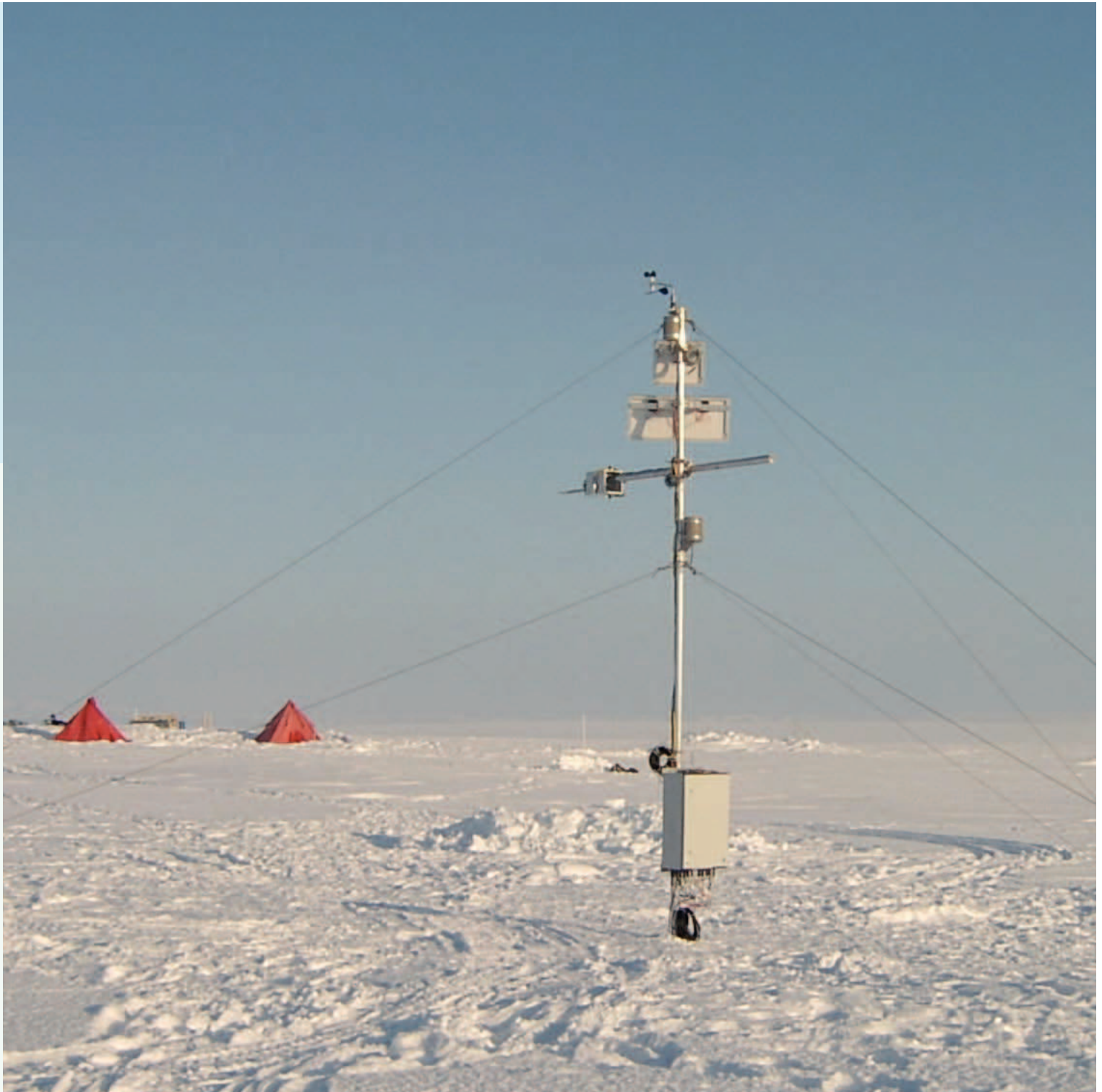
Analyse von Satellitenbildern deckt. Basierend auf ihrer aktuellen Flächenausdehnung und dem „worst case“-Klimaszenario „Special Report on Emissions Scenarios A2“ des Berichtes des Intergovernmental Panel on Climate Change von 2007 konnte die Massenbilanz des Gran Campo Nevado zum Ende des 21. Jahrhunderts auf ungefähr 4,5 m Wasseräquivalent Ausdünnung pro Jahr abgeschätzt werden. Ein experimentelles Modell für die Abnahme der Gletscherfläche ergibt auf dieser Basis einen Rückzug der

Eiskappe auf Höhenlagen bis oberhalb 560 m über dem Meer, was einem Flächenverlust von über 25 Prozent gleichkäme. Im Moment reichen die vom Zentrum der Eiskappe herabfließenden Talgletscher noch bis auf Meeresniveau hinab. Alleine diese kleine Eiskappe im südlichsten Patagonien würde damit bezogen auf den Zeitraum 1900 bis 2099 mit 0,2 mm zum weltweiten Meeresspiegelanstieg beitragen.

Ganz anders sind die Verhältnisse im nördlichen Sval-

bard-Archipel (Spitzbergen) auf der Insel Nordaustlandet: Hier befinden sich mit Austfonna und Vestfonna, die zwei größten Eiskappen der europäischen Arktis, die zusammen genommen eine Fläche von über 10.000 km<sup>2</sup> bedecken. Bis jetzt ist nur wenig über die Trends ihrer Energie- und Massenbilanz in jüngster Zeit bekannt. Auch im Bezug auf ihre Klimasensitivität, also ihre potenzielle Reaktion auf den Klimawandel, weiß man noch fast nichts. Dabei wird im Bericht des IPCC von 2007 gerade die Nord-





10

*Bild 3: Automatische Wetterstation am Ahlmann Summit (Vestfonna, Nordaustlandet). Die Station misst alle wichtigen Klimaelemente sowie die Änderung des Abstands zur Schneeoberfläche mit Hilfe eines Ultraschallsensors zur Bestimmung der Schneeakkumulation beziehungsweise Schneeschmelze.*

polarregion als Brennpunkt des Temperaturanstiegs im 21. Jahrhundert ausgewiesen. Im Rahmen des Internationalen Polarjahres 2007 bis 2009 wird nun seitens eines internationalen Forschungskonsortiums versucht, diese Wissenslücke zu schließen. Im Projekt „Dynamic Response of Surface Energy and Mass Balance of Vest- and Austfonna (Nordaustlandet, Svalbard) on Climate Change“, Dynamische Reaktion der Oberflächenenergie- und Oberflächenmassenbilanz von Vest- und Austfonna auf den Klimawandel, arbeitet das Team der RWTH zusammen mit Projektpartnern der Technischen Universität Berlin und der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn an dieser Frage. Während der Frühjahrskampagne 2008 wurden dabei sechs automatische Wetterstationen, siehe Bild 3, und ein Netz aus 24 Ablationsstangen installiert.

Diese Aluminiumrohre sind Messlaten, die zur Bestimmung der Gletscherschmelze in das Eis gebohrt werden. Im Sommer 2008 wurden die Messeinrichtungen erneut aufgesucht und für den harten Winterbetrieb umgerüstet. Der Sommer 2008 auf Nordaustlandet war eine außergewöhnlich schneereiche Periode. Nachdem bereits im vorherigen Winter deutlich mehr Schnee gefallen war, als normalerweise in diesen Regionen zu erwarten ist, haben Aust- und Vestfonna im Massenbilanzjahr 2007/2008 im Gegensatz zum weltweiten Trend sogar an Masse gewonnen. Überhaupt reagieren die Eismassen des nördlichen Svalbard-Archipels bisher nur gering auf den Klimawandel. Herauszufinden inwieweit dies auch für die Zukunft gilt, oder ob sich der im Moment positive Trend nicht sogar ins Gegenteil umkehren könnte, ist unter anderem Ziel

des Projektes. Besonders wichtig für die Massenbilanz der Eiskappen der Arktis sind Veränderungen der thermischen Regime im Inneren der Eiskappen. Durch die Erwärmung des Gletschereises, ausgelöst durch eine höhere Lufttemperatur und im Inneren des Gletschers wieder gefrierendes Schmelzwasser, verändern sich dessen Fließeigenschaften. Die arktischen Eismassen könnten im Extremfall an ihren Rändern förmlich auseinander gleiten, vergleichbar mit einem zu flüssig geratenen Wackelpudding. Dieses Szenario könnte den Anstieg des Meeresspiegels erheblich beschleunigen. Auf der Basis der Messungen am Vestfonna und mit Hilfe von gekoppelten numerischen Modellen, welche Simulationen eines zukünftigen Klimas mit Energie- und Massenbilanzmodellen für die Gletscheroberfläche verknüpfen, leistet die RWTH zusammen mit den Projektpart-



nern einen Beitrag zur Beantwortung dieser drängenden Fragen, siehe Bild 4.

[www.klimageo.rwth-aachen.de](http://www.klimageo.rwth-aachen.de)

Autoren:  
Marco Möller, M.A., und Tobias Sauter, M.Sc., sind Wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehr- und Forschungsgebiet Physische Geographie und Klimatologie. Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Christoph Schneider leitet das Lehr- und Forschungsgebiet Physische Geographie und Klimatologie.

*Bild 4: Professor Christoph Schneider beim Ausstechen eines Schneesylinders zur Bestimmung der Schneedichte am Ahlmann Summit.*