



## Die Arktis unter Druck

Menschgemachter Wandel in der Arktis  
und die Rolle der Schweiz

## IMPRESSUM

### HERAUSGEBERIN UND KONTAKT

Akademien der Wissenschaften Schweiz (a+)  
Schweizerische Kommission für Polar- und Höhenforschung (SKPH)  
Haus der Akademien • Laupenstrasse 7 • Postfach • 3001 Bern • Schweiz  
+41 31 306 93 54 • christoph.kull@scnat.ch • polarforschung.ch

### ZITIERVORSCHLAG

Fischer H, Chanteloup L, Csonka Y, Holm P, Jaccard S, Schaepman-Strub G, Schmale J, Vieli A (2022) Die Arktis unter Druck. Menschgemachter Wandel in der Arktis und die Rolle der Schweiz. Swiss Academies Reports 17 (5)

### AUTORINNEN UND AUTOREN

Hubertus Fischer (Universität Bern) • Laine Chanteloup (Universität Lausanne) • Yvon Csonka (Neuchâtel) • Patricia Holm (Universität Basel) • Samuel Jaccard (Universität Lausanne) • Gabriela Schaepman-Strub (Universität Zürich) • Julia Schmale (EPFL Sion) • Andreas Vieli (Universität Zürich)

### PROJEKTLÉITUNG

Hubertus Fischer (Universität Bern) • Christoph Kull (Schweizerische Kommission für Polar- und Höhenforschung SKPH)

### REDAKTION

Andres Jordi (SCNAT)

### LAYOUT

Monique Borer und Olivia Zwygart (SCNAT)

### TITELFOTO

Die Forschungsstation «Swiss Camp» im Ausflussgebiet Westgrönlands: Aufgrund der Klimaerwärmung schmilzt das Eis unter der Station zunehmend ab, und die Station musste mehrfach auf Stelzen wieder errichtet werden.  
Foto: Konrad Steffen

1. Auflage, 2022

ISSN (print): 2297-1564

ISSN (online): 2297-1572

DOI: 10.5281/zenodo.7155652



Cradle to Cradle™-zertifizierter und klimaneutraler Report, gedruckt durch die Vögeli AG in Langanu.

## SDGs: Die internationalen Nachhaltigkeitsziele der UNO

Mit dieser Publikation leisten die Akademien der Wissenschaften Schweiz einen Beitrag zu SDGs 13, 14, 15 und 17:

«Umgehend Massnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen ergreifen», «Ozeane, Meere und Meeresressourcen im Sinne nachhaltiger Entwicklung erhalten und nachhaltig nutzen», «Landökosysteme schützen, wiederherstellen und ihre nachhaltige Nutzung fördern, Wälder nachhaltig bewirtschaften, Wüstenbildung bekämpfen, Bodendegradation beenden und umkehren und dem Verlust der biologischen Vielfalt ein Ende setzen» und «Umsetzungsmittel stärken und die Globale Partnerschaft für nachhaltige Entwicklung mit neuem Leben erfüllen».

> [sustainabledevelopment.un.org](https://sustainabledevelopment.un.org)

> [eda.admin.ch/agenda2030/de/home/agenda-2030/die-17-ziele-fuer-eine-nachhaltige-entwicklung.html](https://eda.admin.ch/agenda2030/de/home/agenda-2030/die-17-ziele-fuer-eine-nachhaltige-entwicklung.html)



# Die Arktis unter Druck

Menschgemachter Wandel in der Arktis  
und die Rolle der Schweiz

## Inhaltsverzeichnis

|   |                                                                          |    |
|---|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Schnee, Eis und Permafrost gehen zurück .....                            | 3  |
| 2 | Das Meereis nimmt ab, Ozean- und Atmosphärenzirkulation ändern sich..... | 5  |
| 3 | Biodiversität und Ökosysteme verändern sich .....                        | 6  |
| 4 | Umweltverschmutzung in der Arktis .....                                  | 8  |
| 5 | Soziokultureller Wandel bei den indigenen Völkern .....                  | 10 |
| 6 | Bedeutung für die Schweiz .....                                          | 12 |
|   | Literatur.....                                                           | 13 |

# Die Arktis unter Druck

## Menschgemachter Wandel in der Arktis und die Rolle der Schweiz

**Die Arktis leidet besonders stark unter dem Klimawandel und der Umweltverschmutzung. Während das arktische «Tauwetter» die Lebensgrundlagen der indigenen Bevölkerung gefährdet, sehen die Industrieländer darin eine Chance für neue wirtschaftliche Aktivitäten. Die Veränderungen in der Arktis wirken sich aber auch global aus. Deshalb ist eine Bewahrung der arktischen Öko- und Klimasysteme für die nachhaltige Entwicklung ausserhalb der Arktis essenziell – auch in der Schweiz.**

Treibhausgase, Umweltverschmutzung und Eingriffe in die Natur durch Landwirtschaft, Industrie oder Rohstoffabbau beeinträchtigen Klima, Umwelt und die darin lebenden Organismen. Der damit einhergehende ökologische und ökonomische Druck auf die Gesellschaft erschwert eine nachhaltige Entwicklung. Die Arktis mit ihren höchst spezialisierten Ökosystemen reagiert besonders empfindlich auf den globalen Wandel.

Solch sensible Ökosysteme und extreme Umweltbedingungen mit tiefen Temperaturen, Schnee und Eis findet man auch in der hochalpinen Schweiz. Die Schweiz wird deshalb auch als «vertikale arktische Nation» bezeichnet. Die Bezeichnung ist im gesellschaftlichen Kontext irreführend, da die ökonomischen Voraussetzungen und die Anpassungsmöglichkeiten in der Schweiz vorteilhafter sind als die der indigenen Gesellschaften in der Arktis. Für die Klima- und Umweltbedingungen in hochalpinen Zonen und den Veränderungsdruck auf Schweizer Gletscher, Permafrost und ihren Ökosystemen ist dieser Vergleich aber durchaus zutreffend. Aus einem vertieften Verständnis der Veränderungen in der Arktis können deshalb auch Parallelen für die Schweiz gezogen werden. Umgekehrt trägt die schweizerische Bevölkerung und Wirtschaft durch CO<sub>2</sub>-Emissionen, Konsum und internationale Finanzströme zur Klimaerwärmung wie auch zu direkten Eingriffen in die arktischen Ökosysteme bei.

Änderungen der Umweltbedingungen in der Arktis haben nicht nur lokale Folgen. Die Arktis ist vielmehr ein Schaltzentrum des globalen Klimas. Die Ausdehnungen von Schnee, Meer- und Landeis stellen wichtige Rückkopplungsparameter dar, welche die weltweite klimatische Entwicklung beeinflussen. Die Ozeane der hohen Breiten sind zudem wichtig für die Bildung von Tiefenwasser, was im Nordatlantik den polwärts gerichteten Transport von Wärme aus niederen Breiten antreibt und auch das Klima in der Schweiz mitbestimmt. Änderungen dieses Wassermassentransports können sich deshalb auf lokale Klimata auf der ganzen Welt auswirken.

Dieser Bericht fasst den Wissensstand zu den Veränderungen der Umwelt und der Gesellschaften in der Arktis zusammen. Es zeigt Parallelen zur Schweiz auf und welche Schlüsse daraus gezogen werden können.

### 1 Schnee, Eis und Permafrost gehen zurück

Schnee, Eis und Permafrost prägen die Arktis wie auch das Hochgebirge in der Schweiz. Diese Komponenten der Kryosphäre reagieren empfindlich auf die menschgemachte Klimaerwärmung. Die Oberflächentemperaturen in der Arktis und in der Schweiz sind in den letzten 150 Jahren ungefähr doppelt so stark angestiegen wie das globale Mittel.

Besonders eindrücklich spiegeln sich die klimabedingten Veränderungen im Abschmelzen von Gletschern wider. Sowohl in Alaska, Kanada, Grönland, Island, Skandinavien als auch in der russischen Arktis verlieren die Gletscher und Eiskappen deutlich an Masse (WOR 2019). Auch der grönländische Eisschild, der zweitgrösste Eiskörper unseres Planeten nach der Antarktis, wird signifikant kleiner (Abb. 1). So hat er von 2006 bis 2015 im Mittel jedes Jahr ca. 280 Gigatonnen an Eis verloren (IPCC 2019), was in etwa der Masse aller Gletscher der Alpen entspricht. Der Eisverlust in Grönland ist zu ca. 60 Prozent auf das Schmelzen von Eis an der Oberfläche und zu 40 Prozent auf eine erhöhte Produktion von Eisbergen durch grosse Eisströme zurückzuführen (WOR 2019).

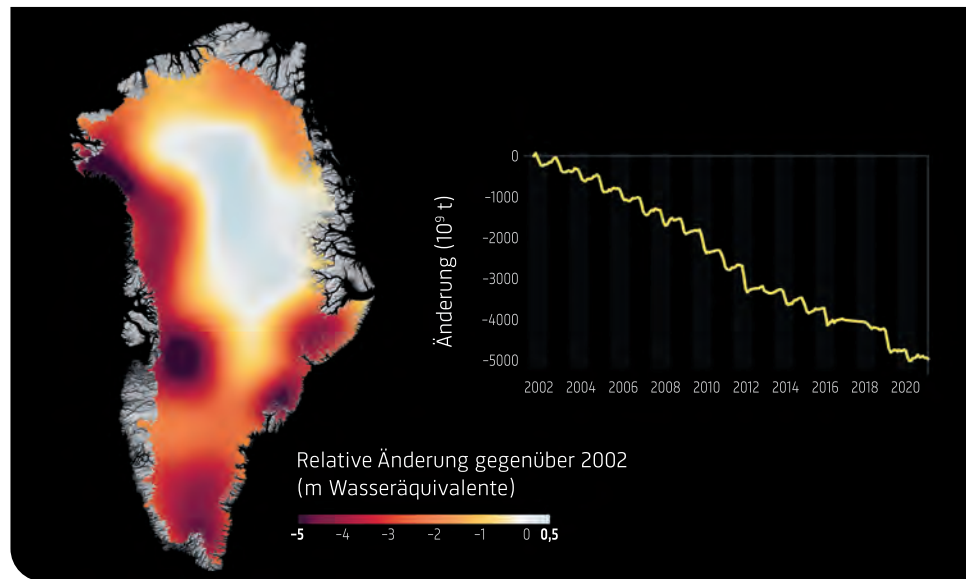
#### Rückkopplung verstärkt die Erwärmung

Das Schwinden der arktischen Gletscher und des grönländischen Eisschildes führt zu einem beschleunigten Anstieg des globalen Meeresspiegels. So trug der Eisverlust in Grönland zwischen 2006 und 2015 ca. 22 Prozent zum globalen Anstieg von durchschnittlich 3,6 Millimeter pro Jahr bei (IPCC 2019). Das ist bereits mehr als der Beitrag, welche alle alpinen Gletscher in diesem Zeitfenster pro Jahr leisteten und wird nur noch von der thermischen Ausdehnung der Ozeane übertroffen. Im Verlauf des 21. Jahrhunderts wird das Schmelzen des grönländischen Eises die wichtigste Ursache für die steigenden Pegel darstellen. Würde der Eisschild vollständig abschmelzen, stiege der Meeresspiegel weltweit im Schnitt um 6 bis 7 Meter (IPCC 2019).

Neben den Landeismassen nehmen auch die Ausdehnung und Dauer der saisonalen Schneebedeckung in der Arktis



Abbildung 1: Veränderung der grönländischen Eismasse seit 2002 (rechts: totaler Massenverlust, links Änderung der Eisschildhöhe umgerechnet auf die Dichte von Wasser). Rekonstruktion anhand von Satellitendaten des Gravity Recovery And Climate Experiment. Quelle: NASA und JPL/Caltech



signifikant ab (Abb. 2). So hat sich die Landfläche, welche Ende Juni jeweils noch schneebedeckt ist, seit 1967 um mehr als 50 Prozent reduziert. Ähnlich wie beim schwindenden Meereis führt der Rückgang der sommerlichen Schneebedeckung dazu, dass weniger Sonnenstrahlung reflektiert und mehr absorbiert wird. Dies verstärkt den globalen Klimawandel und führt über Rückkopplungseffekte dazu, dass sich die Arktis überdurchschnittlich stark erwärmt. Welche anderen Mechanismen für diese sogenannte arktische Verstärkung verantwortlich sind, ist noch nicht restlos verstanden. Neben den veränderten Abstrahlungsverhältnissen im Sommer spielen der erhöhte Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre, die veränderte Wolkenbedeckung und die polwärts gerichtete Zufuhr von Wärme eine Rolle.

### Auftauender Permafrost setzt Treibhausgase frei

Steigende Oberflächentemperaturen und die reduzierte Isolation des Bodens durch Schnee führen in der Arktis zu vermehrtem Auftauen des Permafrosts (Abb. 2). So sind die Bodentemperaturen in den arktischen Permafrostgebieten in den letzten 40 Jahren um fast 1,5 Grad Celsius gestiegen (IPCC 2019).

Im Permafrost der Arktis sind ca. 1500 Gigatonnen organischer Kohlenstoff gebunden, die beim Auftauen zum Teil freigesetzt werden könnten. Diese zusätzlichen Emissionen von  $\text{CO}_2$  und Methan verstärken den Treibhauseffekt in der Atmosphäre. Berechnungen zufolge könnten bis zu 240 Gigatonnen emittiert werden (IPCC 2019). Es ist also wichtig, diese Treibhausgasemissionen aus Permafrostböden bei der Berechnung des maximalen  $\text{CO}_2$ -Ausstosses zu berücksichtigen, den sich die Menschheit noch erlauben kann, um die Klimaziele zu erreichen.

Die rasche Erwärmung und das Auftauen des Permafrosts verändern die arktische Landschaft und ihre Ökosysteme

me tiefgreifend. Dies wirkt sich auch auf Infrastrukturen wie Strassen, Gas- und Ölpipelines oder Gebäudefundamente sowie auf die Lebensgrundlage der indigenen Völker aus.

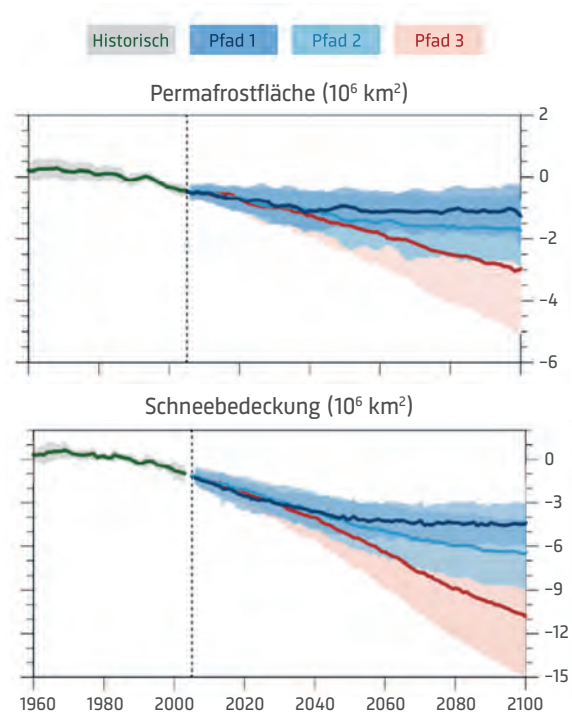


Abbildung 2: Gemessene Änderung der Schneebedeckung und der Permafrostflächen seit 1960 und Prognose bis 2100 für drei repräsentative Treibhausgas-Konzentrationspfade. Pfad 1 entspricht in etwa einem Szenario, das die globale Erwärmungsgrenze von 2 Grad Celsius einhält, Pfad 3 einem Szenario ohne nennenswerte Klimaschutzmassnahmen und Pfad 2, einem dazwischenliegenden Szenario. Quelle: IPCC 2019

## 2 Das Meereis nimmt ab, Ozean- und Atmosphärenzirkulation ändern sich

Meereis ist gefrorenes Meerwasser, das auf der Meeresoberfläche schwimmt. Es bildet sich in der Regel vor allem im Winter, wenn sich das Wasser an der Oberfläche unter den Gefrierpunkt abkühlt, und schmilzt im Sommer, wenn die Temperaturen wieder steigen. Ein Teil überlebt jedoch den Sommer und bildet mehrjähriges Meereis. Meereis reflektiert 50 bis 70 Prozent der Sonnenstrahlung zurück in den Weltraum, sorgt für eine thermische Isolierung zwischen der Meeresoberfläche und der Atmosphäre, beeinflusst die Ozean- und die atmosphärische Zirkulation und bietet Lebensraum für spezifische Arten.

### Stärkster Meereisrückgang seit 1500 Jahren

Der beschleunigte Verlust des Meereises in der Arktis ist ein deutlicher und symbolischer Indikator für die globale Erwärmung. Sowohl die saisonale als auch die mehrjährige Ausdehnung und Dicke des Meereises haben seit den 1980er Jahren signifikant abgenommen (Abb. 3). Dies ist auf erhöhte Konzentrationen von Treibhausgasen in der Atmosphäre und natürliche Schwankungen zurückzuführen. Die minimale Ausdehnung des Meereises, die in der Regel im September auftritt, ist gegenüber dem Durchschnitt der Jahre 1981 bis 2010 in jedem Jahrzehnt um mehr als 10 Prozent zurückgegangen (IPCC 2021).

In jeder Region, in jedem Monat und zu jeder Jahreszeit ist die Meereisausdehnung in der Arktis heute geringer als

in früheren Jahrzehnten (Abb. 4). Die Veränderungen sind im Sommer ausgeprägter als im Winter, wobei die stärksten Trends gegen Ende des Sommers zu beobachten sind (Abb. 3). Historische Rekonstruktionen mithilfe von Sedimentkernen zeigen, dass die jüngsten Entwicklungen des Meereisrückgangs seit mindestens 1500 Jahren beispiellos sind (Kinnard et al. 2011).

### Der Einfluss auf das Wetter in den mittleren Breiten ist noch unklar

Die Arktische Oszillation lenkt die Luftmassen zwischen der Arktis und den mittleren Breiten. Sie moduliert die Stärke der vorherrschenden Westwinde und die Zugbahn der Stürme. Aufgrund der grossen natürlichen jährlichen Schwankungen ist es für die Wissenschaft schwierig festzustellen, inwieweit die Erwärmung in der Arktis die Arktische Oszillation und damit die Wettermuster in den mittleren Breiten bereits beeinflusst hat.

Typisch ist zum Beispiel das Muster «warme Arktis – kalte Kontinente»: Eine wärmere Arktis führt zu kälteren und schneereichen Wintern in Kontinentaleuropa und zu stärkeren Stürmen über dem Atlantik. Die warmen Verhältnisse in der Arktis verändern die Zirkulation der Luftmassen und führen dazu, dass kalte arktische Luft nach Süden ausbricht. Die kalte Luft trifft über Kontinentaleuropa auf warme und feuchte Luft und verursacht typischerweise im Januar und Februar kalte und nasse Episoden. In der Schweiz sorgte eine solche Wetterlage Anfang 2021 für ausserordentlich starke Schneefälle.

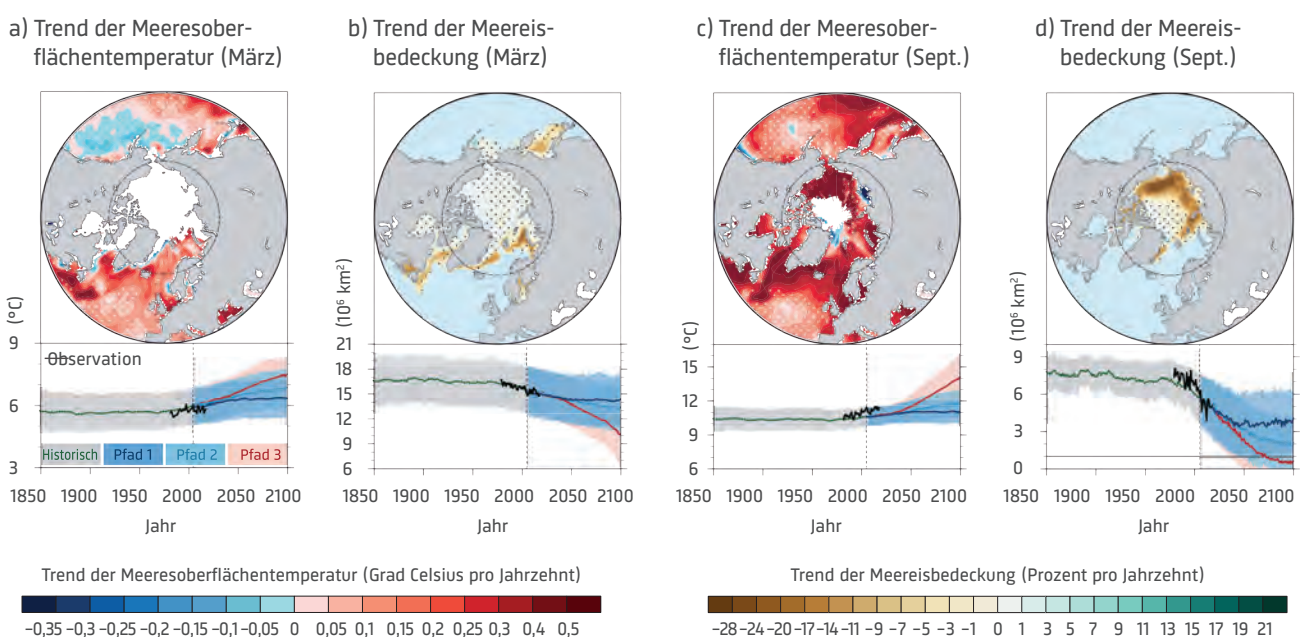


Abbildung 3: Karten der linearen Trends (Grad Celsius pro Jahrzehnt) der arktischen Meeresoberflächentemperatur und der linearen Trends der Meereisbedeckung (in Prozent pro Jahrzehnt) im März (a, b) und September (c, d). Die Beobachtungen deuten auf eine beschleunigte Erwärmung und einen Rückgang des Meereises in den letzten Jahrzehnten hin, ein Trend, der sich wahrscheinlich fortsetzen wird, wenn keine nachhaltigen, international koordinierten Massnahmen zur drastischen Reduzierung der anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen ergriffen werden. Pfad 1 entspricht in etwa einem Szenario, das die globale Erwärmungsgrenze von 2 Grad Celsius einhält, Pfad 3 einem Szenario ohne nennenswerte Klimaschutzmassnahmen. Quelle: IPCC 2019



Abbildung 4: Schmelzendes Eis in der Nähe der Wetterstation am Kap Baranov im Sommer 2021. Foto: Arctic Century Expedition, Jón Björgvinsson

Umgekehrt kann warme und feuchte Luft aus den mittleren Breiten in die Arktis strömen. Die Luftmassen dringen ein, wenn sich dort stabile Hochdrucksysteme bilden. Seit dies vermehrt vorkommt, sind solche Warmlufteinbrüche häufiger geworden. Tritt das Phänomen im Spätwinter und im Frühjahr auf, führt es zu Temperaturen nahe dem Schmelzpunkt und zu einer früheren arktischen Meereis-schmelze.

Sowohl die Auswirkungen des Luftmassentransports von der Arktis in die mittleren Breiten als auch die Zufuhr von Luft in die Arktis sind aktive Forschungsgebiete.

#### Die atlantische Zirkulation kann schwächer werden

Die Atlantische Meridionale Umwälzzirkulation ist das wichtigste Zirkulationssystem des Atlantiks. Sie transportiert warmes Oberflächenwasser über den Golfstrom nach Norden und kaltes Tiefenwasser nach Süden. Der verstärkte Abfluss von Schmelzwasser vom grönländischen Eisschild und andere Prozesse in der Arktis verändern die Dynamik der Tiefenwasserbildung im Nordatlantik und damit die Ozeanzirkulation. So verringert der stärkere Süßwasserabfluss zum Beispiel die Dichte des Meerwassers.

Beobachtungen deuten darauf hin, dass sich der ozeanische Wärmetransport Richtung Nordpol aufgrund des Klimawandels allmählich abschwächt (Caesar et al. 2018). Tatsächlich hat sich der subpolare Nordatlantik in den letzten Jahrzehnten abgekühlt, was möglicherweise durch eine Verlangsamung der Atlantischen Meridionalen Umwälzzirkulation erklärt werden kann. Um diese Entwicklung eindeutig dem Klimawandel zuschreiben zu können, ist allerdings ein längerer Untersuchungszeitraum erforder-

lich. Eine fortgesetzte Erwärmung wird die atlantische Zirkulation aber höchstwahrscheinlich zunehmend schwächen.

### 3 Biodiversität und Ökosysteme verändern sich

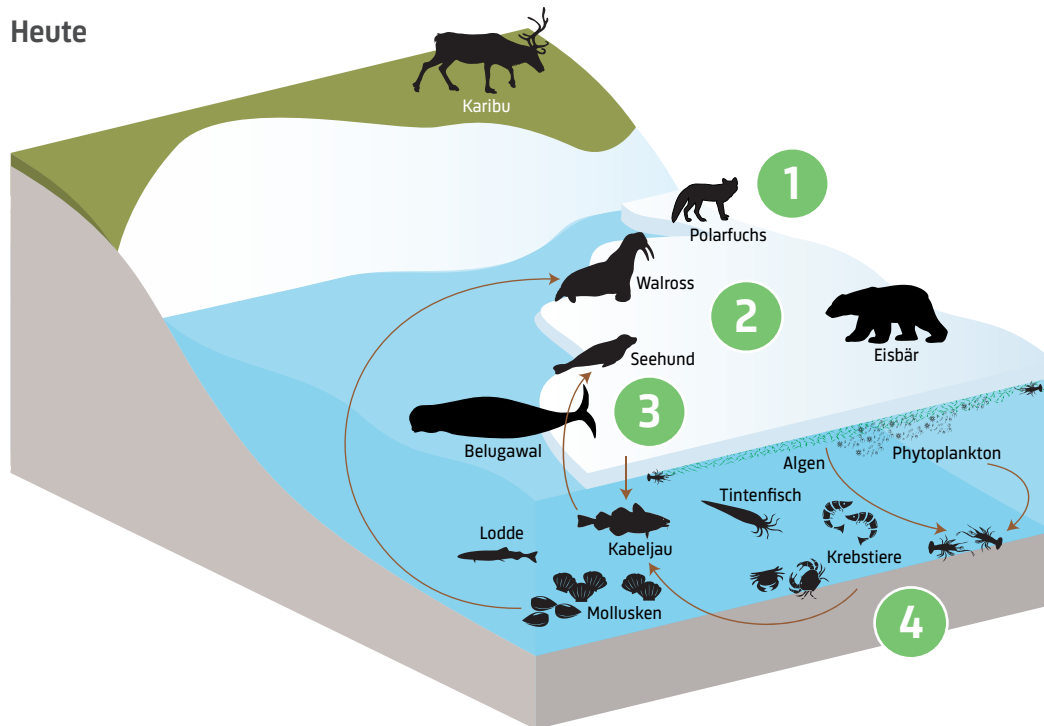
Laut dem Arctic Council umfasst die Biodiversität der Arktis mehr als 21 000 beschriebene, hochgradig an ihren Lebensraum angepasste Arten von Säugetieren, Vögeln, Fischen, Wirbellosen, Pflanzen, Pilzen und Mikroben. Sie stellen den Menschen grundlegende Ökosystem-Dienstleistungen wie Nahrung oder kulturelle Werte zur Verfügung. Der unwirtliche Lebensraum beherbergt viele nur in der Arktis vorkommenden Arten und bietet dank der wenigen Fressfeinde sichere Bedingungen für viele Zugvögel, Fische und Säugetiere.

#### Besser angepasste Arten verdrängen ursprüngliche

Die an tiefe Temperaturen, Eis- und Schneebedeckung angepassten Organismen der Arktis sind dem überdurchschnittlich hohen Temperaturanstieg in ihrem Lebensraum besonders ausgesetzt. So blühen und verschwinden Algen und Plankton aufgrund der immer früheren Eisschmelze im arktischen Ozean immer früher im Jahr. Algen- und Planktonfresser orientieren sich bezüglich Auftreten ihres Futters jedoch am Sonnenlicht im Jahresverlauf und verpassen ihre Nahrung zunehmend. Die zeitliche Entkopplung von Räuber und Beute breitet sich über das gesamte Nahrungsnetz aus und bedeutet auch Hunger für Krebse, Fische, Seevögel, Robben, Eisbären und Wale (Abb. 5).

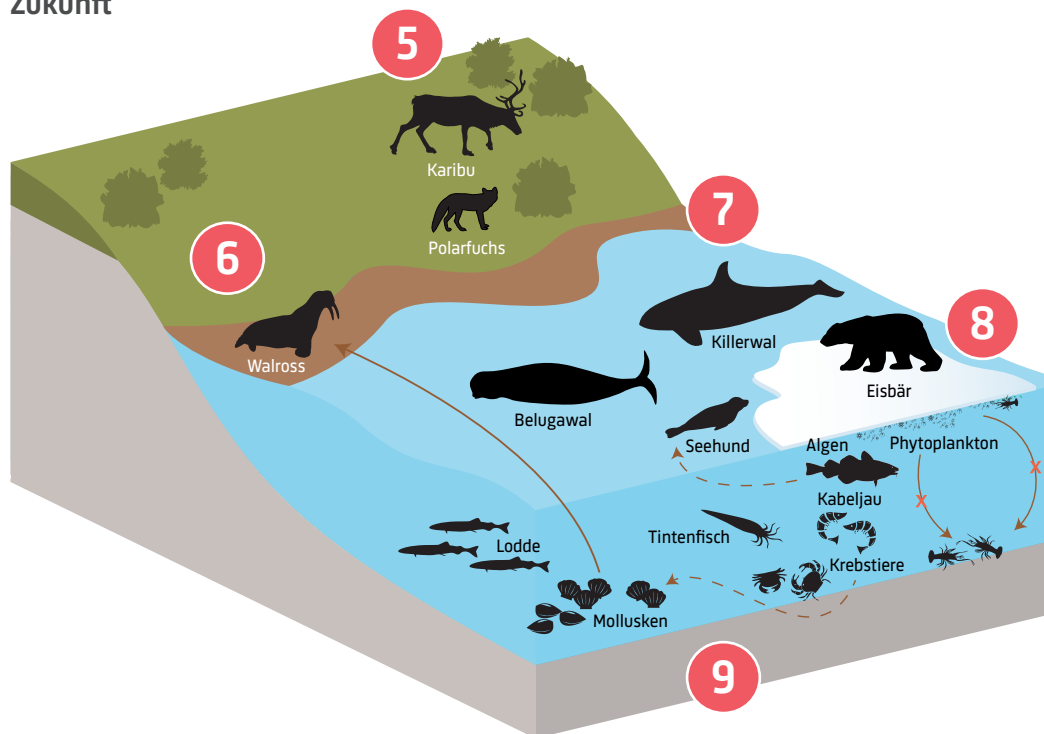


## Heute



- 1 Über Packeis-Korridore stehen Populationen im Austausch
- 2 Brutpflege und Nahrungssuche
- 3 Mit der Eisschmelze im Frühling gelangt organisches Material ins Meer
- 4 Primärproduktion zur richtigen Zeit ermöglicht die Vermehrung von Zooplankton und liefert Futter fürs gesamte Nahrungsnetz

## Zukunft



- 5 Pflanzenwachstum beginnt früher
- 6 Massenansammlungen erhöhen Infektionsrisiko und Mortalität
- 7 Eisverlust isoliert Populationen, verhindert genetischen Austausch und verändert die Artenzusammensetzung
- 8 Kürzere Jagdperiode beeinträchtigt die Körperversorgung
- 9 Verkürzte Primärproduktion reduziert Zooplankton und damit Futter für gesamtes Nahrungsnetz

Abbildung 5: Wie der Klimawandel die ökologischen Beziehungen in der Arktis verändert. Quelle: Post et al. 2013

Bei Wirbellosen der Arktis rechnet man bei einer Temperaturerhöhung um mehr als 3 bis 4 Grad Celsius mit erhöhten Sterblichkeiten und verringerten Fortpflanzungsraten. Fische weichen in grössere Tiefen aus und das Phytoplankton des Nordatlantiks hat sich seit den 1950er Jahren um mehrere hundert Kilometer pro Jahrzehnt polwärts verschoben. Immer mehr gebietsfremde

Pflanzen- und Tierarten wandern in die Arktis ein. Der zunehmenden Konkurrenz sind die stark spezialisierten arktischen Arten oft nicht gewachsen.

Auch Krankheiten breiten sich nach Norden aus wie zum Beispiel die Tollwut bei Polarfüchsen. Toxische Al-

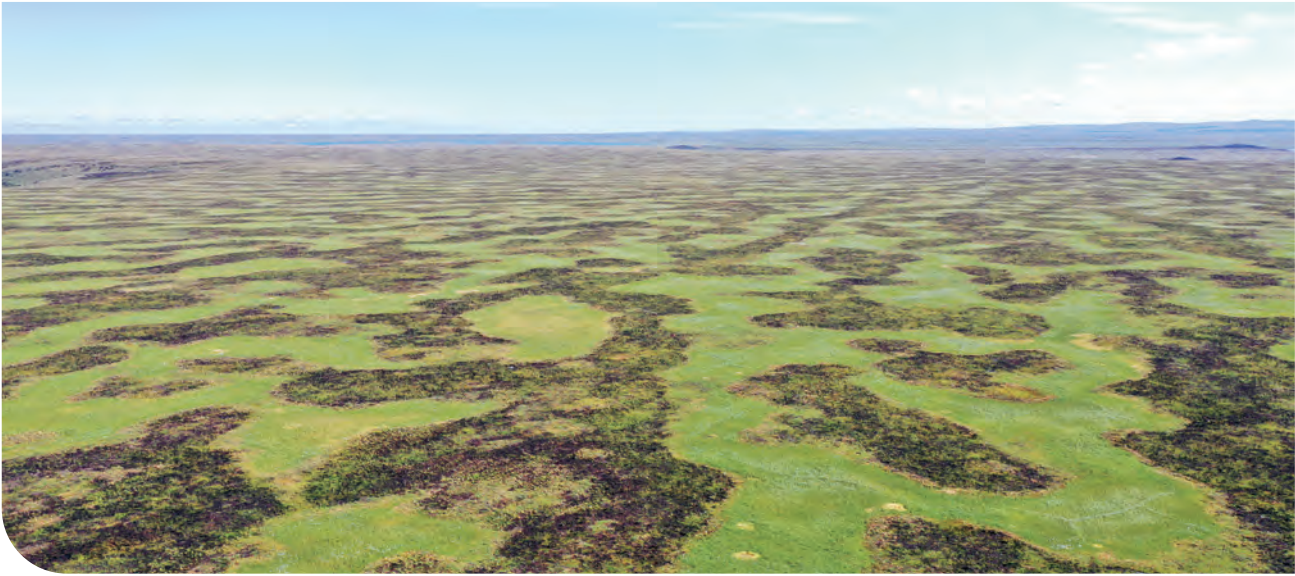


Abbildung 6: Feuer in der sibirischen Tundra hinterlassen einen Flickenteppich: Die trockene, von Flechten dominierte Vegetation ist abgebrannt, die feuchten, von Wollgras besiedelten Flächen konnten dem Feuer widerstehen. Foto: Egor Kirillin

genblüten werden durch die Veränderungen des Meereises zunehmen.

#### Mehr Regen und Hitzeperioden

Mit den steigenden Temperaturen nehmen in der Arktis auch die Extremereignisse zu. Niederschläge werden häufiger und fallen vermehrt als Regen. Extreme Niederschläge überschwemmen und spülen Sandbänke weg, die Fischen als Laichplätze dienen.

Die Auswaschung von Nährstoffen führt zur Düngung nährstoffarmer Böden und Gewässer. So steigt in vielen Gebieten die Produktivität der Ozeane und der Tundra. Arten, die auf magere Bedingungen spezialisiert sind, verlieren ihre Lebensräume und werden von besser angepassten verdrängt. Mit dem Verschwinden gehen auch ihre ökologischen Funktionen verloren. Verdrängen Büsche zum Beispiel Moose und Flechten, verlieren die Rentiere ihre Nahrung und die Permafrostböden die schützende Isolation. Das Auftauen des Permafrostes verändert wiederum die Hydrologie auf den Landflächen.

Häufigere Hitzeperioden führten in den letzten Jahren zu grossflächigen Feuern bis in die baumlose Tundra. Auf den Brandflächen tauen die Permafrostböden bis in grosse Tiefen auf. Die Vegetation verändert sich rasch, zum Beispiel hin zu einer Buschlandschaft (Abb. 6).

Neben dem Klimawandel bedrohen die Übernutzung von Arten und ihrer Lebensräume, invasive Arten und Umweltverschmutzung die Biodiversität weltweit zurzeit am stärksten. Diese Faktoren bedrängen auch die arktische Biodiversität zunehmend. Während die Bekämpfung des Klimawandels nur mit globalen Massnahmen gelingen kann, können Schutzgebiete in der Arktis zum Erhalt

der gefährdeten Arten beitragen und so auch die Lebensgrundlagen der indigenen Bevölkerung sichern.

## 4 Umweltverschmutzung in der Arktis

In der Arktis leben ca. vier Millionen Menschen, welche die Umwelt teilweise nur wenig (zum Beispiel traditionelle Rentierherdenführer) oder stark (Industriestädte in Nordkanada oder Sibirien) belasten. Zusätzlich gelangen Schadstoffe über Luft und Ozean aus den mittleren Breiten in die Arktis.

#### Smog verschleiert den Klimawandel

Die arktische Atmosphäre ist besonders im Winter durch anthropogene Emissionen mit Luftschadstoffen verschmutzt. Dieser arktische Smog wurde schon in den 1950er Jahren von Piloten beobachtet und seither intensiv erforscht (AMAP 2021a). Im Winter bilden sich Luftschichten, unter denen es kaum vertikalen Austausch gibt. Zusätzlich fällt so gut wie kein Schnee. Deshalb sammeln sich Abgase und Feinstaub an und führen zu Smog. Die Schadstoffe stammen je etwa zur Hälfte aus der Arktis und den mittleren Breiten.

Der Feinstaub in der Luft reflektiert die Sonnenstrahlen, bevor sie die Oberfläche erreichen. Dies minderte die Erwärmung der Arktis bis zu einem gewissen Grad. Die verbesserte Luftqualität in den vergangenen Jahrzehnten aufgrund von Luftreinhalte-massnahmen in Europa und Nordamerika und des Kollapses der Sowjetunion hob diesen kühlenden Effekt aber teilweise auf. Die saubere Luft in der Arktis und den höheren mittleren Breiten trägt heute ungefähr gleich viel zur Erwärmung der Arktis bei wie die erhöhten Kohlenstoffdioxid-Konzentrationen auf-

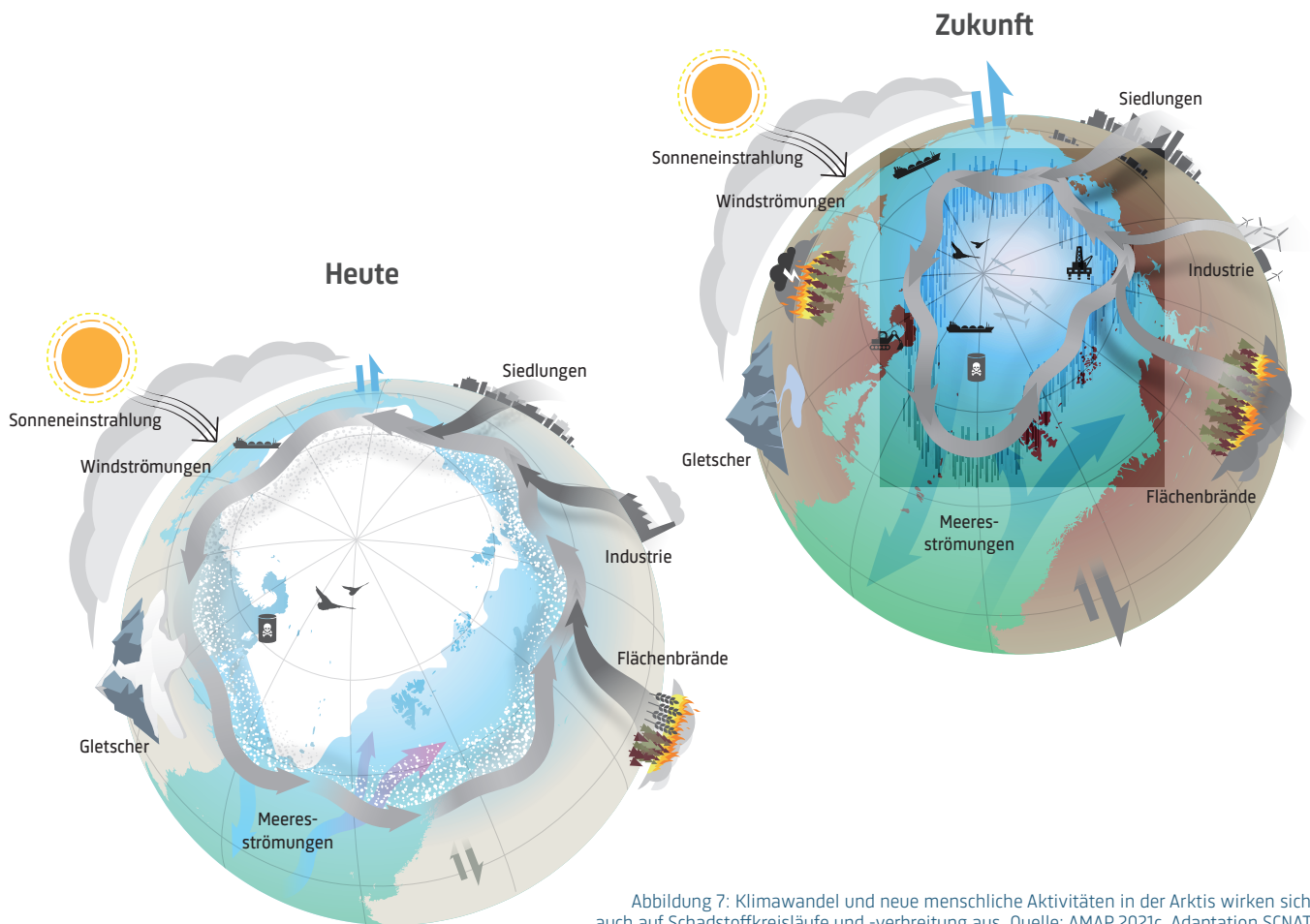


Abbildung 7: Klimawandel und neue menschliche Aktivitäten in der Arktis wirken sich auch auf Schadstoffkreisläufe und -verbreitung aus. Quelle: AMAP 2021c, Adaptation SCNAT

grund des globalen Klimawandels (AMAP 2021a). Dies ist natürlich kein Argument für mehr Luftverschmutzung, sondern für eine verstärkte Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses.

### Giftstoffe schaden Tieren und Menschen

Mit dem globalen Wandel nimmt auch die Belastung durch giftige Chemikalien zu. So setzen der Bergbau, die Metall- und Zementproduktion, sowie der Einsatz fossiler Brennstoffe, Quecksilber frei, das über die Luft oder die Ozeane in die Arktis transportiert wird (AMAP 2021b). Obwohl viele giftige Substanzen wie etwa persistente organische Schadstoffe (POPs) längst verboten sind, gelangen sie weiterhin in die Umwelt. Quecksilber wird gar nicht und POPs werden nur schwer abgebaut. Neue gefährliche Stoffe, zum Beispiel Flammschutzmittel, kommen hinzu. Die Umweltbelastung verstärkt sich zudem durch die Remobilisierung von bisher im Schnee, Permafrost und Eis gebundenen Schadstoffen (Abb. 7).

All diese Substanzen lagern sich bevorzugt im Fett von Lebewesen an. In Tierarten, die in der Nahrungshierarchie zuoberst stehen, reichern sich die Giftstoffe an. So enthalten Fische, Robben, Eisbären und Wale besorgniserregend hohe Konzentrationen. Sie leiden unter reduzierter Fitness, gestörtem Verhalten und beeinträchtigter

Fortpflanzung. Zusammen mit weiteren Faktoren wie dem Druck durch neu einwandernde Arten, steigenden Temperaturen und saisonalen Verschiebungen bringt dies viele Arten an die Grenzen ihrer Überlebensfähigkeit.

Betroffen von den ansteigenden Konzentrationen von Quecksilber und POPs sind auch die indigenen Völker, die sich traditionell von Fischen, Robben und Walen ernähren. Quecksilber kann zu neurologischen Schäden und bei Kindern zu Unterentwicklung führen. Wie stark und mit welchen Stoffen die Bewohnerinnen und Bewohner der Arktis belastet sind, unterscheidet sich regional. In gewissen Gebieten steigt die Belastung insbesondere durch neue Stoffe und Abbauprodukte von POPs (AMAP 2021c).

### Neue Aktivitäten führen zu neuen Belastungen

Trotz der verstärkten klimabedingten Freisetzung aus schmelzendem Schnee und Eis reduziert sich die Belastung der Arktis mit Luftschadstoffen, Quecksilber und POPs langfristig, weil der Einsatz weltweit zurückgeht. Hingegen führen neue Aktivitäten zu neuen Belastungen. Dazu gehören die Gasförderung und damit verbunden das Abfackeln von Gas oder die Ölförderung aus Ölsanden. Mit dem Rückgang des Meereises wird der Schiffsverkehr



Abbildung 8: Die arktischen Völker haben eine grosse Sprachenvielfalt. Der Anteil der indigenen Bevölkerung schwankt je nach Region von weniger als 5 bis über 80 Prozent. Die Farben stellen die verschiedenen Sprachfamilien dar, die rote Linie markiert die Grenzen des arktischen Kulturraums. Quelle: AHDR 2004

ausgebaut. So nahm dieser zwischen 2013 und 2019 in der Arktis um 25 Prozent zu (PAME 2020). Damit steigt das Risiko von Unfällen und auslaufendem Öl. Zudem beeinträchtigt der zunehmende Lärm die marinen Ökosysteme und sensible Arten wie die über Laute kommunizierenden Meeressäuger (IWC 2018). Müll in den Meeren, zum grössten Teil Plastikmüll, stellt ein weiteres enormes Problem dar. Unter arktischen Bedingungen zersetzt sich Plastik besonders langsam und kann Umwelt und Mensch schaden.

## 5 Soziokultureller Wandel bei den indigenen Völkern

Die rund vier Millionen Menschen, die in der Arktis leben, zeichnen sich durch eine grosse kulturelle und soziale Vielfalt aus (Abb. 8). Mehr als eine halbe Million Menschen verteilen sich auf mehrere Dutzend indigene Völker. Sie stammen von den ersten Siedlern ab, die sich vor mehreren tausend Jahren in der Arktis niederliessen. Die meisten anderen Bewohnerinnen und Bewohner sind europäischer Abstammung und haben sich erst in sehr viel jüngerer Zeit dort niedergelassen (AHDR 2004).

### Ernährungsgewohnheiten ändern sich

Nach dem Zweiten Weltkrieg waren indigene Völker einem starken Assimilationsdruck ausgesetzt, der von einer paternalistischen Modernisierungspolitik ausging. Seitdem sind diese Völker einem schnelleren soziokulturellen Wandel unterworfen als der Rest der Nationen, in die sie integriert sind. Ausserdem sind sie überdurchschnittlich stark von Bildungsdefiziten, Armut, Arbeitslosigkeit, prekären Wohnverhältnissen, gesundheitlichen Problemen und schlechter medizinischer Versorgung betroffen. Fast überall drohen die lokalen Sprachen von der vorherrschenden Landessprache verdrängt zu werden, was die Kluft zwischen den Generationen und die kulturelle Entfremdung verschärft (Csonka 2022).

Auch die Ernährung hat sich verändert. Zwar sind regionale Lebensmittel weiterhin geschätzt und identitätsstiftend, doch ein zunehmend stationärer Lebensstil und ein grosses Angebot an importierten Nahrungsmitteln haben die aus Jagd, Viehzucht, Fischfang und Sammeltätigkeit gewonnene traditionelle Kost grösstenteils ersetzt (Abb. 9). Damit verbunden treten neue Krankheiten wie Diabetes oder Herz-Kreislauf-Erkrankungen häufiger auf. Hinzu kommt, dass viele regionale Lebensmittel mit



persistenten organischen Schadstoffen belastet sind und ein Gesundheitsrisiko darstellen (siehe oben).

### Zweischneidige wirtschaftliche Entwicklung

In gewissen Regionen hat die Klimaerwärmung unmittelbare Folgen auf die Nahrungsbeschaffung. Einerseits verkürzt sich zum Beispiel die Saison, in der die Jagd auf dem Packeis möglich ist (Krupnik et al. 2010), gejagte oder gefischte Arten werden verdrängt, erodierende Küsten und das Auftauen des Permafrosts schädigen die Infrastruktur. Andererseits ermöglicht der Klimawandel neue landwirtschaftliche Praktiken, welche die indigene Bevölkerung bisher nicht verfolgte.

Andere Folgen sind weniger direkt. So erleichtert der Klimawandel den Zugang in die arktische Region. Dies weckt vornehmlich bei den Industrieländern Interesse,

sei es für die Entwicklung des Tourismus, des Bergbaus, der Wasserkraft, der Gewinnung von fossilen Brennstoffen oder des Schiffsverkehrs. Projekte zur Nutzung der natürlichen Ressourcen schaffen zwar Arbeitsplätze und moderne Infrastrukturen, beeinträchtigen aber häufig die Umwelt und destabilisieren die soziale Organisation der lokalen Gemeinschaften, etwa die soziale Hierarchie oder die Stellung der Frauen (Abb. 10) (Hovelsrud et al. 2011).

### Grenzen der Anpassungsfähigkeit

Im Zuge der weltweiten Entkolonialisierung haben die indigenen Völker der Arktis seit dem letzten Viertel des 20. Jahrhunderts in den westlichen Ländern (nicht aber in Russland) eine beschränkte Souveränität über ihre Gebiete und politische Autonomie erlangt. Damit haben sie eine gewisse Kontrolle über ihr Schicksal zurückgewonnen (AHDR 2004). Die gestärkte Identität führt dazu, dass



Abbildung 9: Wohnhäuser in Nuuk, Grönland. Aufgrund der Sesshaftigkeit und der zunehmenden Urbanisierung leben die indigenen Völker der Arktis heute zunehmend in städtischen Zentren. Foto: Yvon Csonka



Abbildung 10: Gasförderung in Bovanenkov, Russland: Die Gas- und Ölförderung wirken sich negativ auf die Rentierzucht der Nenzen aus, indem sie den Boden verschmutzen und die Wanderrouen unterbrechen. Foto: Florian Stämmler

Traditionen weitergelebt und oft auch erneuert werden. Sie ist mit ein Grund dafür, dass sich die indigenen Völker trotz allem bisher relativ gut an die sich ändernden Lebensbedingungen in der Arktis anpassen konnten. Die Resilienz könnte jedoch aufgrund des sich beschleunigenden Wandels an ihre Grenzen stossen.

## 6 Bedeutung für die Schweiz

### Auswirkungen auf Umwelt und Klima

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Ökosysteme und die Biodiversität in der Arktis sind vergleichbar mit denen hochalpiner Regionen in der Schweiz. Während sich die Veränderungen in der Schweiz aufgrund ihrer beschränkten Grösse eher lokal auswirken, erzeugen jene in der Arktis massive globale Rückkopplungseffekte. Diese sind wiederum auch in der Schweiz spürbar und verstärken den Klimawandel.

### Auswirkungen auf Gesellschaften

Der Klimawandel wirkt sich in den hochalpinen Gebieten der Schweiz zwar auf die natürlichen Ressourcen aus, die wir wie selbstverständlich im Alltag nutzen (z. B. Wasser). Weil diese Gebiete aber quasi unbewohnt sind, ist die Bevölkerung von den Veränderungen nicht unmittelbar betroffen. Im Gegensatz dazu leben die indigenen Gesellschaften der Arktis mitten in der sich verändernden Umwelt und sind zum Beispiel in punkto Ernährung stark von ihr abhängig. Trotzdem ist es ihnen bisher gelungen, sich anzupassen. Auch dem starken Assimilationsdruck der letzten Jahrzehnte konnten sie standhalten und ihre Identität bewahren.

### Ökonomische Auswirkungen

Die Veränderungen der marinen und terrestrischen Ökosysteme und ihrer Biodiversität wirken sich in der Arktis nicht nur auf die Ernährungsgrundlage der indigenen Bevölkerung aus. Die zunehmenden Naturge-

fahren führen auch zu ökonomischen Schäden und kosten im schlimmsten Fall sogar Menschenleben. Die Ursachen dafür liegen vor allem in den Industrieländern (fossile Brennstoffe, Umweltverschmutzung) und ihrer nicht nachhaltigen Nutzung der natürlichen Ressourcen. Gleichzeitig sehen Konzerne und Investoren, darunter auch in der Schweiz ansässige, in den klimabedingten Veränderungen in der Arktis neue Geschäftsfelder, etwa beim Rohstoffabbau und -handel, bei erneuerbaren Energien, marinen Transportrouten oder beim Fischfang. Dies setzt die lokale Bevölkerung weiter unter Druck, zumal sie vom Profit kaum Nutzen zieht. Zudem steht für viele Indigene der Erhalt der natürlichen Bedingungen im Zentrum, die ihnen eine kulturell verankerte Lebensweise ermöglicht.

### Die Rolle der Schweiz

Durch ihren engen Bezug zu Schnee, Permafrost und Eis interessiert sich die Schweiz vor allem wissenschaftlich seit langem für die Arktis. Dabei sind die nachhaltige Entwicklung von Natur und Gesellschaften zentrale Anliegen. Bereits 1912 durchquerte der Schweizer Wissenschaftspionier Alfred de Quervain das grönländische Inlandeis, um wissenschaftliche Erkenntnisse über Grönland und seine Gesellschaft zu gewinnen.

Heute koordinieren und unterstützen das Schweizer Komitee für Polar und Höhenforschung der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz und das 2016 gegründete Swiss Polar Institute die Forschungsaktivitäten und setzen sich auf internationaler Ebene dafür ein, das Bewusstsein für die Situation der Polregionen zu schärfen. Seit 2017 nimmt die Schweiz als Beobachterin Einsitz im Arktischen Rat und setzt sich auch auf diplomatischem Weg für die Belange und nachhaltige Entwicklung in der Arktis ein. Diesem bewahrenden Engagement stehen aber wirtschaftliche Interessen, auch Schweizer Konzerne, entgegen.

## Fazit

Die Arktis und die hochalpinen Gebiete der Schweiz stehen durch Klimawandel und Umweltverschmutzung unter grossem Druck. Dabei sind die Menschen in der Arktis ökonomisch und sozial weitaus stärker betroffen als jene in der Schweiz. Zudem sehen die Industrieländer den arktischen Wandel vor allem als wirtschaftliche Chance. Aufgrund der klimatischen Rückkopplungsprozesse wirken sich die Veränderungen in der Arktis aber weltweit aus. Deshalb ist es nicht nur die Verantwortung gegenüber der Polregion, sondern auch im eigenen Interesse, dass sich Industrieländer und die Schweiz dafür einsetzen, den Klimawandel, die Umweltverschmutzung und den Artenverlust in der Arktis zu stoppen.

## Literatur

WOR (2019) **The Arctic and Antarctic – Extreme, Climatically Crucial and In Crisis.** World Ocean Review 6 (2019)  
<https://worldoceanreview.com/en/wor-6>

IPCC (2019) **Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.** International Panel on Climate Change.  
<https://doi.org/10.1017/9781009157964>

IPCC (2021) **Climate Change 2021 – The Physical Science Basis.** International Panel on Climate Change.  
<https://doi.org/10.1017/9781009157896>

Kinnard C, Zdanowicz CM, Fisher DA, Isakkson E, de Vernal A, Thompson LG (2011) **Reconstructed changes in Arctic sea ice over the past 1,450 years.** Nature 479, 509–512.  
<https://doi.org/10.1038/nature10581>

Caesar L, Rahmstorf S, Robinson A, Feulner G, Saba V (2018) **Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation.** Nature 556, 191–196. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0006-5>

Post E, Bhatt US, Bitz CM, Brodie JF, Fulton TL, Hebblewhite M, Kerby J, Kutz SJ, Stirling I, Walker DA (2013) **Ecological Consequences of Sea-Ice Decline.** Science. <https://doi.org/10.1126/science.1235225>

AMAP (2021a) **Impacts of Short-lived Climate Forcers on Arctic Climate, Air Quality, and Human Health. Summary for Policy-makers.** Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). <https://www.amap.no/documents/doc/impacts-of-short-lived-climate-forcers-on-arctic-climate-air-quality-and-human-health.-summary-for-policy-makers/3512>

AMAP (2021b) **Mercury in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP).** <https://www.amap.no/documents/doc/amap-assessment-2021-mercury-in-the-arctic-uncorrected-proofing-draft/3581>

AMAP (2021c) **POPs and Chemicals of Emerging Arctic Concern: Influence of Climate Change.** Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). <https://www.amap.no/documents/doc/amap-assessment-2020-pops-and-chemicals-of-emerging-arctic-concern-influence-of-climate-change-pre-print/3580>

IWC (2018) **Resolution on anthropogenic underwater noise.** International Whaling Commission (IWC). <https://iwc.int/management-and-conservation/environment/anthropogenic-sound>

PAME (2020) **Arctic Shipping Status Report: The increase in Arctic Shipping: 2013–2019.** Protection of the Arctic Environment (PAME). <https://oaarchive.arctic-council.org/handle/11374/2733>

AHDR (2004) **Arctic human development report.** Stefansson Arctic Institute. <http://hdl.handle.net/11374/51>

Csonka Y (2022) **Indigenous Peoples of the Circumpolar North.** Global Arctic: An Introduction to the Multifaceted Dynamics of the Arctic, 21–40. Springer Nature Switzerland AG.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-81253-9>

Hovelsrud GK, Poppel B, van Oort B et al. (2011) **Arctic Societies, Cultures, and Peoples in a Changing Cryosphere.** AMBIO 40, 100–110.  
<https://doi.org/10.1007/s13280-011-0219-4>

Krupnik I, Aporta C, Gearheard S, Laidler GJ, Kielsen Holm L (2010) **SIKU: Knowing Our Ice.** Springer <https://doi.org/10.1007/978-90-481-8587-0>

IPCC (2019) **IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.** Pörtner HO, Roberts DC, Masson-Delmotte V, Zhai P, Tignor M, Poloczanska E, Mintenbeck K, Alegría A, Nicolai M, Okem A, Petzold J, Rama B, Weyer NM (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 755 pp.  
<https://doi.org/10.1017/9781009157964>

## Wer sind wir?

Die Akademien der Wissenschaften Schweiz (a+) sind ein Verbund der fünf wissenschaftlichen Akademien der Schweiz: der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT), der Schweizerischen Akademie der Geistes- und Sozialwissenschaften (SAGW), der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften (SAMW), der Schweizerischen Akademie der Technischen Wissenschaften (SATW) und der Jungen Akademie Schweiz (JAS). Sie umfassen nebst den Akademien die Kompetenzzentren TA-SWISS und Science et Cité sowie weitere wissenschaftliche Netzwerke. Die Akademien der Wissenschaften Schweiz vernetzen die Wissenschaften regional, national und international. Sie vertreten die Wissenschaftsgemeinschaften disziplinär, interdisziplinär und unabhängig von Institutionen und Fächern. Ihr Netzwerk ist langfristig orientiert und der wissenschaftlichen Exzellenz verpflichtet. Sie beraten Politik und Gesellschaft in wissenschaftsbasierten und gesellschaftsrelevanten Fragen.

Die Schweizerische Kommission für Polar- und Höhenforschung (SKPH) der Akademien der Wissenschaften Schweiz (a+) vertritt die Schweiz in den internationalen wissenschaftlichen Gremien der Arktisforschung (IASC) und der Antarktisforschung (SCAR). Sie fördert die Zusammenarbeit der Forschenden in der Schweiz und stellt mit der Expertise ihrer Mitglieder das Wissen interessierten Kreisen in Gesellschaft, Wirtschaft und Politik zur Verfügung.



