

Der Ozean und die Kryosphäre in einem sich wandelnden Klima

Ein Sonderbericht des Zwischenstaatlichen
Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)

Häufig gestellte Fragen und Antworten



Englisches Original

© 2019 Intergovernmental Panel on Climate Change

IPCC, 2019: Frequently Asked Questions. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (Hrsg.)]. <https://doi.org/10.1017/9781009157964>

Herausgegeben von: Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen (*Intergovernmental Panel on Climate Change* IPCC, WMO/UNEP)

Die englische Originalversion dieses Dokuments ist in elektronischer Form auf der IPCC-Webseite unter <https://www.ipcc.ch/srocc/about/faq/> erhältlich.

Die verwendeten Bezeichnungen und die Darstellungen auf Karten implizieren keine wie auch immer geartete Meinung seitens des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen im Hinblick auf den Rechtsstatus irgendeines Landes, eines Gebietes, einer Stadt oder Gegend bzw. dessen/deren Behörden, oder im Hinblick auf deren Grenzen.

Umschlagdesign: Stefanie Langsdorf

Deutsche Übersetzungen

Die vorliegende Übersetzung ist keine offizielle Übersetzung durch den IPCC. Sie wurde erstellt mit dem Ziel, die im Originaltext verwendete Sprache möglichst angemessen wiederzugeben.

Herausgeber: Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, DLR Projektträger
www.de-ipcc.de, de-ipcc@dlr.de



Übersetzung: Carola Best unter Mitarbeit von Laurens Bouwer, Jochen Hinkel, Sina Löschke, Ben Marzeion, Denja Frederieke Otte, Esther Schübler

Mitfinanzierung: Auswärtiges Amt (AA)
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Layout: bplusd agenturgruppe GmbH nach dem Original-Layout von IPCC

Bezugsquellen

Diese Übersetzung kann von den Webseiten <https://www.de-ipcc.de/270.php>, https://proclim.scnat.ch/de/ipcc/international_reports und https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/int_klimapolitik/wissenschaft.html als PDF-Datei heruntergeladen werden.

Als Gremium der Vereinten Nationen veröffentlicht der IPCC seine Berichte in den sechs offiziellen VN-Sprachen (Arabisch, Chinesisch, Englisch, Französisch, Russisch, Spanisch). Versionen in diesen Sprachen werden auf www.ipcc.ch zum Herunterladen zur Verfügung gestellt. Weitere Informationen erteilt das IPCC-Sekretariat (Adresse: 7bis Avenue de la Paix, C.P. 2300, 1211 Geneva 2, Schweiz; E-Mail: ipcc-sec@wmo.int).

Zitiervorschrift

IPCC, 2019: Häufig gestellte Fragen und Antworten In: *IPCC-Sonderbericht über den Ozean und die Kryosphäre in einem sich wandelnden Klima* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (Hrsg.)]. Deutsche Übersetzung auf Basis der Onlineversion November 2022. Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, Januar 2023.

DOI: 10.48585/y6nq-bj57

FAQ

Häufig gestellte Fragen und Antworten (FAQ)

Diese Häufig gestellten Fragen und Antworten wurden den Kapiteln des zugrundeliegenden Berichts entnommen und hier zusammengestellt. Beim Zitieren einer bestimmten FAQ geben Sie bitte das entsprechende Kapitel im Bericht an, aus dem die FAQ stammt (z. B. ist FAQ 3.1 Teil von Kapitel 3).

Inhaltsverzeichnis

FAQ 1.1 Wie wirken sich Veränderungen in Ozean und Kryosphäre auf unser Leben auf der Erde aus?.....	3-4
FAQ 1.2 Wie werden sich die Veränderungen in Ozean und Kryosphäre auf das Erreichen der nachhaltigen Entwicklungsziele (<i>Sustainable Development Goals</i> , SDG) auswirken?.....	5-6
FAQ 2.1 Wie wirkt sich der Gletscherschwund auf den Abfluss von Flüssen weiter talwärts aus?.....	8-9
FAQ 3.1 Wie wirken sich Veränderungen in den Polarregionen auf andere Teile der Welt aus?.....	10
FAQ 4.1 Welche Herausforderungen stellt der unvermeidliche Anstieg des Meeresspiegels für Küstengemeinden dar und wie können sie sich anpassen?.....	11
FAQ 5.1 Wie wird das Leben im Meer durch den Klimawandel beeinflusst?.....	12-13
FAQ 6.1 Wie kann man den Risiken abrupter Veränderungen in Ozean und Kryosphäre im Zusammenhang mit dem Klimawandel begegnen?.....	14

FAQ 1.1 | Wie wirken sich Veränderungen in Ozean und Kryosphäre auf unser Leben auf der Erde aus?

Ozean und Kryosphäre regulieren Klima und Wetter auf der Erde, stellen Nahrung und Wasser bereit, unterstützen Wirtschaft, Handel und Verkehr, prägen Kulturen und beeinflussen unser Wohlergehen. Viele der jüngsten Veränderungen in Ozean und Kryosphäre sind das Ergebnis menschlicher Aktivitäten und haben Auswirkungen auf das Leben eines jeden Menschen. Tiefgreifende Senkungen der Treibhausgasemissionen werden negative Folgen für Milliarden von Menschen verringern und ihnen helfen, sich an Veränderungen in ihrer Umwelt anzupassen. Bildung zu verbessern und wissenschaftliche Erkenntnisse mit indigenem Wissen und lokalem Wissen zu verbinden, hilft Gemeinschaften, die anstehenden Herausforderungen weiter zu bewältigen.

Der Ozean und die Kryosphäre – ein Sammelbegriff für die gefrorenen Teile der Erde – sind für das Klima und die lebensspendenden Prozesse auf unserem Planeten von wesentlicher Bedeutung.

Veränderungen in Ozean und Kryosphäre treten natürlicherweise auf, aber die Geschwindigkeit, das Ausmaß und die durchgängige Verbreitung der gegenwärtig stattfindenden globalen Veränderungen waren seit Jahrtausenden oder länger nicht zu beobachten. Belege zeigen, dass die Mehrzahl der in den letzten Jahrzehnten beobachteten Veränderungen in Ozean und Kryosphäre das Ergebnis menschlicher Einflüsse auf das Erdklima sind.

Uns allen kommt die Rolle, die Ozean und Kryosphäre bei der Regulierung von Klima und Wetter spielen, zugute. Der Ozean hat etwa ein Drittel des Kohlendioxids, das Menschen seit der industriellen Revolution durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe freigesetzt haben, und den Großteil (mehr als 90 %) der zusätzlichen Wärme im Erdsystem aufgenommen. Auf diese Weise hat der Ozean die Erwärmung für Menschen und Ökosysteme an Land verlangsamt. Die reflektierende Oberfläche von Schnee und Eis verringert die Menge an Sonnenenergie, die auf der Erde absorbiert wird. Dieser Effekt schwindet mit dem Schmelzen von Schnee und Eis und trägt so zu einem verstärkten Temperaturanstieg überall in der Arktis bei. Ozean und Kryosphäre erhalten durch Regen und Schnee aus dem Ozean sowie durch Schmelzwasser aus Schnee und Gletschern in Berg- und Polargebieten auch lebensspendende Wasserressourcen.

Fast zwei Milliarden Menschen leben in Küstennähe und etwa 800 Millionen auf Landflächen, die weniger als 10 m über dem Meeresspiegel liegen. Der Ozean ist direkte Grundlage für die Ernährung, Wirtschaft, Kulturen und das Wohlergehen von Menschen, die an der Küste wohnen (siehe FAQ 1.2). Die Existenzgrundlagen vieler weiterer Menschen sind über Nahrung, Handel und Verkehr eng mit dem Ozean verbunden. Fisch und Meeresfrüchte liefern etwa 17 % des nicht aus Getreide stammenden Proteins in der menschlichen Ernährung, und der Schiffsverkehr transportiert mindestens 80 % der internationalen Importe und Exporte. Aber der Ozean birgt auch Gefahren für Menschen und Infrastruktur an der Küste, insbesondere an niedrig gelegenen Küsten. Diese Bevölkerungsgruppen sind zunehmend tropischen Wirbelstürmen, marinen Hitzewellen, dem Meeresspiegelanstieg, Küstenhochwassern und dem Eindringen von Salzwasser in die Grundwasserressourcen ausgesetzt.

Im Hochgebirge und der Arktis leben rund 700 Millionen Menschen in engem Kontakt mit der Kryosphäre. Diese Menschen, darunter viele indigene Völker, sind für ihre Existenzgrundlagen, ihre Ernährungs- und Wasserversorgungssicherheit, für Reisen und Transport sowie für ihre Kulturen von Schnee, Gletschern und Meereis abhängig (siehe FAQ 1.2). Sie sind auch Gefahren ausgesetzt, wenn sich die Kryosphäre verändert, darunter Gletscherläufen, Erdbeben und Küstenerosion. Veränderungen in den Polar- und Hochgebirgsgebieten haben auch weitreichende Folgen für Menschen in anderen Teilen der Welt (siehe FAQ 3.1).

Die Erwärmung des Klimasystems führt zum Anstieg des Meeresspiegels. Schmelzwasser von Gletschern und Eisschilden erhöht die Wassermenge im Ozean, und die vom Ozean aufgenommene Wärme führt dazu, dass er sich ausdehnt und mehr Platz einnimmt. Der heutige Meeresspiegel liegt bereits etwa 20 cm höher als der im Jahr 1900. Der Meeresspiegel wird noch Jahrhunderte bis Jahrtausende weiter ansteigen, da das Ozeansystem langsam reagiert. Selbst wenn die globale Erwärmung gestoppt werden sollte, würde es Jahrhunderte oder länger dauern, um das Abschmelzen von Eisschilden und die Erwärmung des Ozeans zum Erliegen zu bringen.

Eine verstärkte Erwärmung in der Arktis und im Hochgebirge führt zu rascher Oberflächenschmelze von Gletschern und des Grönländischen Eisschildes. Das Tauen von Permafrost destabilisiert Böden, menschliche Infrastruktur und Küsten in der Arktis und hat das Potenzial, enorme Mengen an Methan und Kohlendioxid in die Atmosphäre freizusetzen, die den Klimawandel weiter verschärfen werden. Ein großflächiger Verlust von Meereis in der Arktis eröffnet neue Routen für die Schifffahrt, verringert aber gleichzeitig die Lebensräume für sehr wichtige Arten und beeinträchtigt die Existenzgrundlagen indigener Kulturen. In der Antarktis treten Gletscher- und Eisschildverluste besonders schnell dort auf, wo das Eis in direktem Kontakt mit warmem Ozeanwasser steht, was weiter zum Meeresspiegelanstieg beiträgt.

Ökosysteme im Ozean sind weltweit durch drei große Stressfaktoren bedroht, die durch den Klimawandel verursacht werden: Erwärmung, Sauerstoffverlust und Versauerung. Überall im Oberflächenozean treten marine Hitzewellen auf und werden mit der Erwärmung des Ozeans immer häufiger und intensiver. Sie verursachen Krankheiten und Massensterben, die beispielsweise Korallenriffe und Fischpopulationen gefährden. Marine Hitzewellen dauern wesentlich länger als Hitzewellen an Land und sind besonders schädlich für Organismen, die dem warmen Wasser nicht ausweichen können.

Die Erwärmung des Ozeans verringert nicht nur die Menge an Sauerstoff, die er aufnehmen kann, sondern führt tendenziell auch zu Schichtenbildung. Infolgedessen wird weniger Sauerstoff in die Tiefe transportiert, wo er für den Erhalt von ozeanischem Leben benötigt wird. Gelöstes Kohlendioxid, das vom Ozean aufgenommen wurde, reagiert mit Wassermolekülen und erhöht so den Säuregehalt des Meerwassers. Dadurch wird das Wasser korrosiver für Meeresorganismen, die ihre Schalen und Strukturen aus mineralischen Karbonaten aufbauen, wie zum Beispiel Korallen, Schalentiere und Plankton. Diese Stressfaktoren durch den Klimawandel treten parallel mit anderen vom Menschen verursachten Folgen wie Überfischung, übermäßiger Nährstoffbelastung (Eutrophierung) und Verschmutzung mit Plastik auf. Wenn die menschliche Beeinflussung des Ozeans unvermindert anhält, werden die Verschlechterung der Ozeangesundheit und der Rückgang seiner Ökosystemleistungen laut Projektionen die Weltwirtschaft bis 2050 428 Milliarden Dollar pro Jahr und bis 2100 1,979 Billionen Dollar pro Jahr kosten.

Die Geschwindigkeit und Intensität zukünftiger Risiken und Folgen durch Veränderungen in Ozean und Kryosphäre hängen entscheidend von zukünftigen Treibhausgasemissionen ab. Je stärker diese Emissionen eingedämmt werden können, desto stärker können die Veränderungen in Ozean und Kryosphäre verlangsamt und begrenzt werden, was zukünftige Risiken und Folgen verringert. Die Menschheit ist aber auch den Auswirkungen von Veränderungen ausgesetzt, die durch bereits geschehene Emissionen ausgelöst wurden – darunter der Meeresspiegelanstieg, der noch über Jahrhunderte hinweg andauern wird. Indem man Bildung verbessert und wissenschaftliche Erkenntnisse in Kombination mit indigenem Wissen und lokalem Wissen nutzt, kann man die Entwicklung kontextspezifischer Optionen unterstützen, die Gemeinschaften helfen, sich an unvermeidliche Veränderungen anzupassen und auf anstehende Herausforderungen zu reagieren.

FAQ 1.2 | Wie werden sich Veränderungen in Ozean und Kryosphäre auf das Erreichen der Ziele für nachhaltige Entwicklung (*Sustainable Development Goals*, SDG) auswirken?

Veränderungen in Ozean und Kryosphäre erschweren es uns, die Ziele für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen („*Sustainable Developmental Goals*“, SDG) zu erreichen. Fortschritte hinsichtlich der SDG wirken sich positiv auf Klimaschutzmaßnahmen aus, die zukünftige Veränderungen von Ozean und Kryosphäre verringern werden, sowie auf die Maßnahmen zur Anpassung an unvermeidliche Veränderungen. Es bestehen zwar auch Zielkonflikte zwischen SDG und Maßnahmen, die Gemeinschaften helfen, sich an ihre sich verändernde Umwelt anzupassen, die Begrenzung von Treibhausgasemissionen eröffnet jedoch mehr Möglichkeiten für effektive Anpassung und nachhaltige Entwicklung.

Die SDG wurden 2015 von den Vereinten Nationen verabschiedet, um Maßnahmen für Menschen, den Planeten und Wohlstand zu unterstützen (FAQ 1.2, Abbildung 1). Die 17 Ziele und ihre 169 Vorgaben zielen darauf ab, Armut und Hunger zu beenden, den Planeten zu schützen und geschlechtsbezogene, soziale und wirtschaftliche Ungleichheiten bis 2030 zu verringern.

SDG 13 (Maßnahmen zum Klimaschutz) erkennt ausdrücklich an, dass sich ändernde klimatische Bedingungen ein globales Anliegen sind. Der Klimawandel verursacht bereits weit verbreitete und tiefgreifende Veränderungen in Ozean und Kryosphäre der Erde (FAQ 1.1). Diese Veränderungen wirken sich auf die Ernährungs-, Wasserversorgungs- und Gesundheitssicherheit aus, mit Folgen für das Erreichen von SDG 2 (Kein Hunger), SDG 3 (Gesundheit und Wohlergehen), SDG 6 (Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen) und SDG 1 (Keine Armut). Die Folgen des Klimawandels für Ozean und Kryosphäre der Erde beeinträchtigen auch die Umweltziele für SDG 14 (Leben unter Wasser) und SDG 15 (Leben an Land), was zusätzliche Folgen für viele andere SDG mit sich bringt.

SDG 6 (Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen) wird von Veränderungen in Ozean und Kryosphäre betroffen sein. Schmelzende Gebirgsgletscher bringen zwar anfänglich mehr Wasser, aber mit dem weiteren Schrumpfen der Gletscher schrumpft auch die Menge an lebensnotwendigem Wasser, das sie für Millionen von Bergbewohnern, flussabwärts gelegene Gemeinschaften und Städte liefern. Diese Bevölkerungsgruppen sind auch für Trinkwasser, Sanitärversorgung und Bewässerung sowie für SDG 7 (Bezahlbare und saubere Energie) auf den Wasserabfluss aus dem Hochgebirge angewiesen. Die Wasserversorgungssicherheit ist darüber hinaus bedroht, weil sich Ausmaß und Saisonalität von Niederschlägen durch steigende Meerestemperaturen verändern.

Dadurch wird in einigen Regionen das Risiko schwerer Stürme und Überschwemmungen oder in anderen Regionen das Risiko schwererer oder häufigerer Dürren erhöht. Unter anderem hat der anhaltende Meeresspiegelanstieg zur Folge, dass Salzwasser weiter ins Landesinnere eindringen kann, wodurch Trinkwasser und Bewässerungsquellen für manche Küstenbevölkerungen verunreinigt werden. Maßnahmen zur Bewältigung dieser Bedrohungen werden wahrscheinlich neue Infrastruktur für das Management von Regen- und Schmelzwasser und der Abflussmenge von Flüssen erfordern, um die Wasserversorgung zuverlässiger zu gestalten. Diese Maßnahmen kämen auch SDG 3 (Gesundheit und Wohlergehen) zugute, da sie das Risiko von Überschwemmungen und negativen gesundheitlichen Auswirkungen durch extreme Regenfälle und Gletscherläufe verringern würden.

Die Folgen des Klimawandels für Ozean und Kryosphäre haben auch viele Auswirkungen auf den Fortschritt bei der Ernährungssicherheit, der in SDG 2 (Kein Hunger) behandelt wird. Veränderungen von Niederschlagsmustern, die durch die Erwärmung der Ozeane verursacht werden, werden in einigen Gebieten die Aridität erhöhen und in anderen mehr (oder stärkere) Regenfälle mit sich bringen. In Gebirgsregionen bringen diese Veränderungen unterschiedliche Herausforderungen für die Aufrechterhaltung einer zuverlässigen Produktion in Pflanzenbau und Tierhaltung mit sich. Die Entwicklung von besser an die zukünftigen Klimabedingungen angepassten Pflanzensorten und Nutztierassen mag einige Möglichkeiten zur Anpassung bieten, jedoch wird diese Reaktionsmöglichkeit auch durch das hohe Tempo des Klimawandels beeinträchtigt. In der Arktis schränken sehr schnell steigende Temperaturen, schwindendes Meereis, eine verringerte Schneebedeckung und der Abbau von Permafrost die Lebensräume und das Wanderverhalten wichtiger Nahrungsquellen ein (SDG 2 Kein Hunger), darunter Rentiere und diverse Meeressäuger (SDG 15 Leben an Land; SDG 14 Leben unter Wasser). Dies verringert die Gelegenheiten zur Jagd auf Grundnahrungsmittel, auf die viele indigene Gemeinschaften im Norden angewiesen sind.

Steigende Temperaturen sowie Veränderungen von Nährstoff-, Säure- und Salzgehalt des Ozeans verändern SDG 14 (Leben unter Wasser). Die Produktivität und die Verteilung einiger Fischarten ändern sich in einer Weise, die die Verfügbarkeit von Fisch für alt-eingesessene Fischereien verändert, während sich das Verbreitungsgebiet von Fischpopulationen verlagern kann und diese somit in neuen Gebieten an der Küste und im offenen Ozean verfügbar werden können.

Veränderungen im Ozean sind für Kleine Inselentwicklungsländer sowie für Küstenstädte und -gemeinden von Bedeutung. Zusätzlich zu möglichen Rückgängen in der Nahrungsmittelversorgung aus dem Meer und den damit verbundenen Risiken für SDG 2 (Kein Hunger) sind ihr Leben, ihre Existenzgrundlagen und ihr Wohlergehen auch im Zusammenhang mit mehreren anderen SDG bedroht, darunter SDG 3 (Gesundheit und Wohlergehen), SDG 8 (Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum), SDG 9 (Industrie, Innovation und Infrastruktur) und SDG 11 (Nachhaltige Städte und Gemeinden). Zum Beispiel können der Meeresspiegelanstieg und die Erwärmung der Ozeane zur Überflutung von Häusern und Infrastruktur an der Küste, zu stärkeren Tropenstürmen, zu Rückgängen etablierter Wirtschaftszweige wie dem Tourismus sowie zum Verlust kulturellen Erbes und der kulturellen Identität führen. Eine verbesserte Infrastruktur in den Gemeinden und an der Küste kann die Anpassung an diese Veränderungen unterstützen, und effektivere und schnellere Soforthilfen des Gesundheitssektors und anderer Notdienste im Katastrophenfall können die betroffene Bevölkerung unterstützen. In einigen Situationen könnten eine Standortverlegung kritischer Dienste und in einigen Fällen die Umsiedlung von Gemeinden zu den am besten geeigneten Maßnahmen gehören. Für manche Einwohner kann die Abwanderung aus ihrer Heimat die einzig praktikable Reaktion sein.



FAQ 1.2 Abbildung 1 | Die Ziele für nachhaltige Entwicklung bis 2030 der Vereinten Nationen (*United Nations 2030 Sustainable Development Goals, SDG*).

Ohne transformative Anpassung und Minderung könnte der Klimawandel Fortschritte bei der Erreichung der Nachhaltigkeitsziele für 2030 untergraben und die Umsetzung von klimaresilienten Entwicklungspfaden (*Climate Resilient Development Pathways, CRDP*) auf längere Sicht erschweren. Die globale Erwärmung zu verringern (Minderung des Klimawandels) bietet die beste Möglichkeit, um die Geschwindigkeit und das Ausmaß von Veränderungen in Ozean und Kryosphäre zu begrenzen und mehr Möglichkeiten zur wirksamen Anpassung und für nachhaltige Entwicklung zu schaffen. Fortschritte bei SDG 4 (Hochwertige Bildung), SDG 5 (Geschlechtergleichheit) und SDG 10 (Weniger Ungleichheiten) können die Verwundbarkeiten abmildern, die beeinflussen, inwiefern Veränderungen von Ozean und Kryosphäre für Menschen zum Risiko werden, während SDG 12 (Nachhaltige/r Konsum und Produktion), SDG 16 (Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen) und SDG 17 (Partnerschaften zur Erreichung der Ziele) dazu beitragen werden, Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel und zu seiner Minderung in dem Ausmaß zu fördern, wie es für eine nachhaltige Entwicklung erforderlich ist. Investitionen in soziale und physische Infrastruktur, die eine Anpassung an unvermeidliche Veränderungen von Ozean und Kryosphäre unterstützt, werden Menschen in die Lage versetzen, sich an Initiativen zur Erreichung der SDG zu beteiligen. Der IPCC hat sich in der Vergangenheit und aktuell um die Identifizierung von CRDP bemüht. Solche Strategien zur Anpassung an den Klimawandel und zu seiner Minderung – durch angemessene Investitionen unterstützt – sowie das Verständnis darüber, wie SDG-Initiativen die Exposition oder Verwundbarkeit der Aktivitäten gegenüber den Gefahren des Klimawandels erhöhen können, könnten ebenfalls Wege hin zur Erreichung der SDG darstellen.

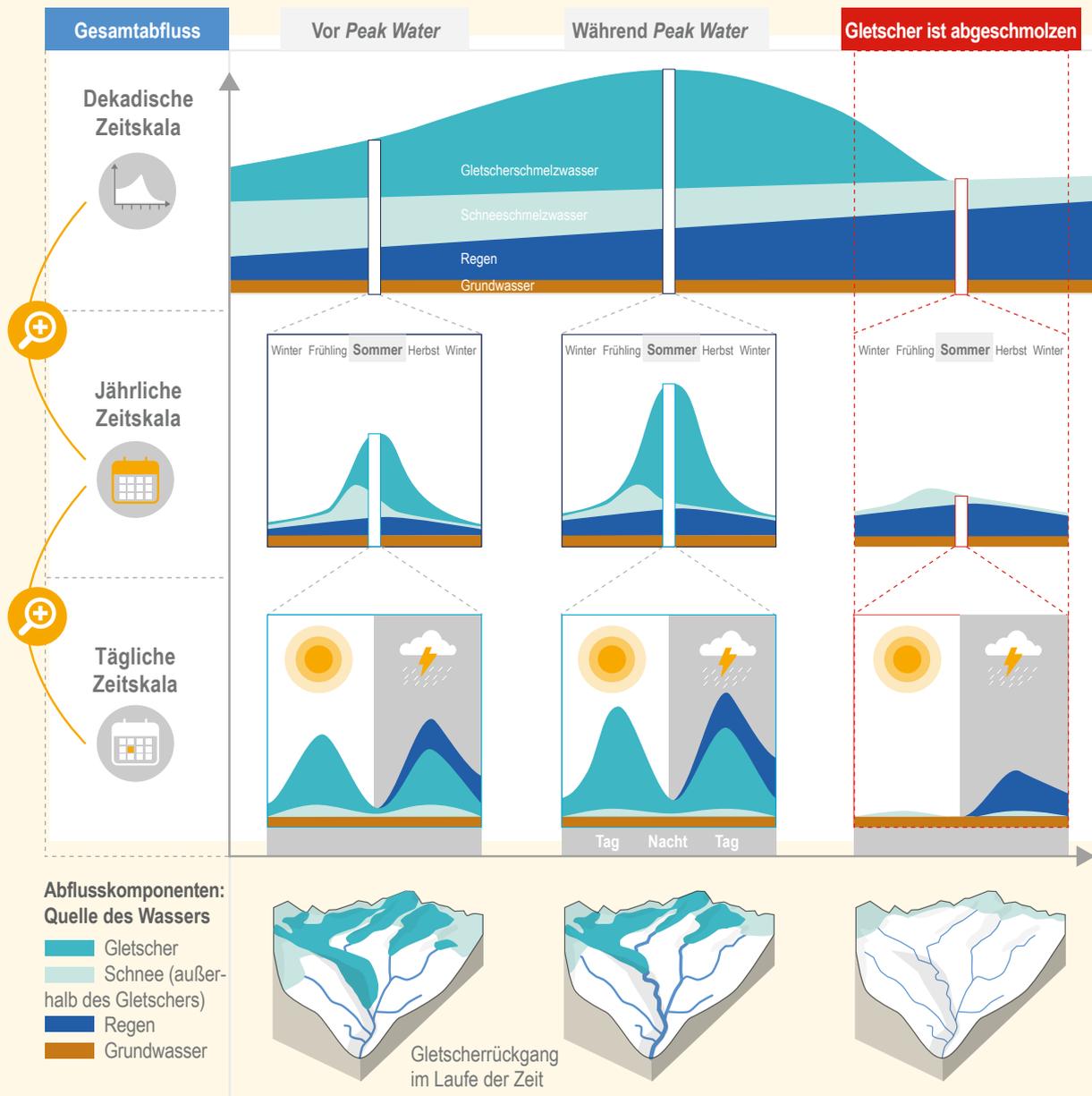
FAQ 2.1 | Wie wirkt sich der Gletscherschwund auf den Abfluss von Flüssen weiter talwärts aus?

Gletscher liefern Wasser, das menschliche Gemeinschaften sowohl in Gletschnähe als auch weit davon entfernt versorgt, zum Beispiel für die Landwirtschaft oder als Trinkwasser. Steigende Temperaturen führen zum Abschmelzen von Gebirgsgletschern und verändern die Wasserverfügbarkeit. Wenn der Gletscher schmilzt, fließt zunächst mehr Wasser vom Gletscher bergab. Mit dem Schrumpfen des Gletschers wird jedoch die Wasserversorgung reduziert, und Landwirtschaftsbetriebe, Dörfer und Städte könnten eine wertvolle Wasserquelle verlieren.

Schmelzende Gletscher können den Abfluss von Flüssen und damit die Süßwasserressourcen, die der menschlichen Bevölkerung zur Verfügung stehen, nicht nur in der Nähe des Gletschers, sondern auch weit entfernt von den Berggebieten beeinflussen. Wenn Gletscher in Reaktion auf ein wärmeres Klima schrumpfen, wird Wasser aus den langfristigen Gletscherspeichern freigesetzt. Zunächst nimmt der Gletscherabfluss zu, weil der Gletscher schneller schmilzt und mehr Wasser vom Gletscher talwärts fließt. Nach einigen Jahren oder Jahrzehnten wird es jedoch einen Wendepunkt geben, der oft als „*Peak Water*“ bezeichnet wird, nach welchem der Gletscherabfluss und damit sein Beitrag zum nachgelagerten Abfluss des Flusses abnimmt (FAQ 2.1; Abbildung 1). Der *Peak Water*-Gletscherabfluss kann die anfängliche jährliche Abflussmenge um 50 Prozent oder mehr übersteigen. Dieses überschüssige Wasser kann auf verschiedene Weise genutzt werden, zum Beispiel für Wasserkraft oder zur Bewässerung. Nach dem Wendepunkt nimmt dieses zusätzliche Wasser mit dem weiteren Schrumpfen des Gletschers stetig ab und versiegt schließlich, wenn der Gletscher verschwindet oder sich in höhere Lagen zurückgezogen hat, wo es für das Fortbestehen des Gletschers weiterhin kalt genug ist. Als Folge davon verlieren Gemeinden flussabwärts diese wertvolle zusätzliche Wasserquelle. Die Gesamtabflusshöhe von Flüssen hängt dann hauptsächlich von Regenfällen, Schneeschmelze, Grundwasser und Verdunstung ab.

Darüber hinaus kann Gletscherschwund den Jahres- und Tageszeitpunkt verändern, an dem das meiste Wasser in Flüssen zur Verfügung steht, die Wasser aus Gletschern abführen. In mittleren oder hohen Breiten ist der Gletscherabfluss im Sommer am größten, wenn das Gletschereis nach dem Verschwinden des Winterschnees weiter schmilzt, und am stärksten während des Tages, wenn Lufttemperatur und Sonneneinstrahlung am höchsten sind (FAQ 2.1, Abbildung 1). Mit dem Auftreten von *Peak Water* erhöhen sich diese täglichen Abflussmaxima durch die intensivere Gletscherschmelze ebenfalls deutlich. In tropischen Gebieten, wie zum Beispiel in Teilen der Anden, schwankt die Lufttemperatur im Jahresverlauf wenig, und Gletscherabflussmenge und -zeitpunkt im Jahresverlauf werden hauptsächlich durch die abwechselnden Feucht- und Trockenzeiten gesteuert.

Die Auswirkungen von Gletschern auf die Abflusshöhe von Flüssen weiter bergab hängen von der Entfernung zum Gletscher ab. In Gletschnähe (zum Beispiel im Umkreis von mehreren Kilometern) können anfängliche Zunahmen des jährlichen Gletscherabflusses bis zu *Peak Water* und anschließende Abnahmen die Wasserversorgung erheblich beeinflussen, und größere Spitzen im täglichen Gletscherabfluss können zu Überschwemmungen führen. Weiter von den Gletschern entfernt werden die Folgen des Gletscherschwunds auf die Gesamtabflusshöhe von Flüssen tendenziell gering oder vernachlässigbar. Das Gletscherschmelzwasser aus den Bergen kann jedoch in heißen und trockenen Jahren oder in Jahreszeiten, in denen der Abfluss der Flüsse sonst gering wäre, eine wichtige Wasserquelle sein und dadurch auch die Jahr-zu-Jahr-Variabilität der Gesamtabflusshöhe von Flüssen verringern, selbst Hunderte von Kilometern von den Gletschern entfernt. Andere Komponenten des Wasserkreislaufs wie Niederschlag, Verdunstung, Grundwasser und Schneeschmelze können die Auswirkungen von Veränderungen des Gletscherabflusses im Zuge von Klimawandel kompensieren oder verstärken.



FAQ 2.1 Abbildung 1 | Ein vereinfachter Überblick über die Änderungen des Abflusses aus einem Flusseinzugsgebiet mit großer (zum Beispiel > 50%) Gletscherbedeckung, die mit schwindenden Gletschern auftreten. Gezeigt sind die relativen Wassermengen aus verschiedenen Quellen – Gletscher, Schnee (außerhalb des Gletschers), Regen und Grundwasser. Es werden drei verschiedene Zeitskalen gezeigt: jährlicher Abfluss aus dem gesamten Einzugsgebiet (obere Tafel); Abflussschwankungen über ein Jahr (mittlere Tafel) und Schwankungen während eines sonnigen und dann regnerischen Sommertages (untere Tafel). Hinweis: Die jahreszeitlichen und täglichen Abflussschwankungen sind vor, während und nach *Peak Flow* unterschiedlich. Die anfänglich negative jährliche Massebilanz des Gletschers wird mit der Zeit immer negativer, bis der Gletscher schließlich abgeschmolzen ist. Es handelt sich um eine vereinfachte Darstellung, bei der nicht speziell auf Permafrost eingegangen wird und die genaue Aufteilung zwischen den verschiedenen Wasserquellen sich je nach Flusseinzugsgebiet unterscheidet.

FAQ 3.1 | Wie wirken sich Veränderungen in den Polarregionen auf andere Teile der Welt aus?

Der Klimawandel in der Arktis und Antarktis betrifft die Menschen außerhalb der Polarregionen in zweifacher Hinsicht. Erstens haben physische und ökosystemare Veränderungen in den Polarregionen sozioökonomische Folgen, die sich über den gesamten Globus erstrecken. Zweitens beeinflussen physische Veränderungen in der Arktis und Antarktis Prozesse, die für das globale Klima und den Meeresspiegel von Bedeutung sind.

Unter den Risiken für Gesellschaften und Volkswirtschaften sind Aspekte der Nahrungsmittelversorgung, des Transports und des Zugangs zu nicht erneuerbaren Ressourcen von großer Bedeutung. Die Fischerei in den Polarmeeren unterstützt die regionale und globale Ernährungssicherheit und ist für die Wirtschaft vieler Länder auf der ganzen Welt wichtig. Der Klimawandel verändert jedoch die marinen Lebensräume der Arktis und Antarktis und beeinträchtigt die Fähigkeit von polaren Arten und Ökosystemen, physischen Veränderungen zu widerstehen oder sich an sie anzupassen. Dies hat Auswirkungen darauf, wo, wann und wie viele Fische gefangen werden können. Die Folgen sind je nach Ausmaß des Klimawandels und der Wirksamkeit der menschlicher Maßnahmen in Reaktion darauf von Region zu Region unterschiedlich. Obwohl das Management in einigen polaren Fischereien zu den am weitesten entwickelten gehört, erkunden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Änderungen an den bestehenden präventiven, ökosystembasierten Managementansätzen, um den Spielraum für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels für marine Ökosysteme und die Fischerei zu erweitern.

Neue Schifffahrtsrouten durch die Arktis bieten Kostenvorteile, da sie kürzer sind als die traditionellen Strecken durch den Suez- oder Panamakanal. Der Schiffsverkehr hat bereits zugenommen und wird laut Projektionen in den kommenden Jahrzehnten noch besser möglich sein, da Arktisrouten aufgrund weiterer Rückgänge der Meereisbedeckung leichter zugänglich werden. Ein verstärkter Schiffsverkehr in der Arktis hat erhebliche sozioökonomische und politische Auswirkungen auf den Welthandel, die nördlichen Nationen und auf Wirtschaftssysteme, die eng mit den traditionellen Schifffahrtskorridoren verknüpft sind, und erhöht gleichzeitig das Umweltrisiko in der Arktis. Eine geringere Meereisbedeckung der Arktis eröffnet einen besseren Zugang zu Offshore-Erdölressourcen und Häfen, die die Ressourcengewinnung an Land unterstützen.

Die Polarregionen beeinflussen das globale Klima durch eine Reihe von Prozessen. Wenn die Frühlings- und Sommerisbedeckung abnimmt, wird mehr Wärme an der Oberfläche absorbiert. Es gibt immer mehr Belege dafür, dass laufende Veränderungen in der Arktis, vor allem der Verlust von Meereis, das Wetter in den mittleren Breiten beeinflussen können. Mit dem Temperaturanstieg in der Arktis speichern Permafrostböden in den nördlichen Regionen weniger Kohlenstoff. Die Freisetzung von Kohlendioxid und Methan aus Landsystemen in die Atmosphäre trägt weiter zur globalen Erwärmung bei.

Das Abschmelzen der Eisschilde und Gletscher in den Polarregionen führt zu einem Anstieg des Meeresspiegels, was sich auf die Küstenregionen und deren große Bevölkerung und Wirtschaft auswirkt. Gegenwärtig tragen der Grönländische Eisschild und die polaren Gletscher stärker zum Meeresspiegelanstieg bei als der Antarktische Eisschild. Der Eisverlust des Antarktischen Eisschilds hat sich jedoch weiter beschleunigt, was in erster Linie auf das verstärkte Abschmelzen der Unterseite schwimmender Eisschelfe zurückzuführen ist, wodurch die Gletscher schneller fließen. Auch wenn es weiterhin schwierig ist, das Ausmaß des Eisverlusts der Antarktis nach der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts zu projizieren, wird erwartet, dass er erheblich zum künftigen Meeresspiegelanstieg beitragen wird.

Der Südliche Ozean, der die Antarktis umgibt, ist weltweit die wichtigste Region, in der Tiefenwasser an die Oberfläche steigt. Hier verwandelt es sich in kaltes, dichtes Wasser, das wieder in die Tiefe absinkt. So werden erhebliche Mengen der vom Menschen erzeugten Wärme und gelösten Kohlenstoffs für Jahrzehnte bis Jahrhunderte oder länger gespeichert, was hilft, die Geschwindigkeit der globalen Erwärmung in der Atmosphäre zu verlangsamen. Zukünftige Veränderungen in der Stärke dieser Ozeanzirkulation können bisher nur mit begrenzter Sicherheit projiziert werden.

FAQ 4.1 | Welche Herausforderungen stellt der unvermeidliche Anstieg des Meeresspiegels für Küstengemeinden dar und wie können sie sich anpassen?

Im Zuge der globalen Klimaveränderungen gefährden steigende Meeresspiegel in Verbindung mit Hochwasser, Stürmen und Überschwemmungen Küsten- und Inselgemeinden zunehmend. Schutz kann durch den Bau von Deichen oder Seemauern und durch die Erhaltung von natürlichen Strukturen wie Mangroven oder Korallenriffen erreicht werden. Gemeinden können sich auch durch die Rückgewinnung von Land aus dem Meer und die Anpassung von Gebäuden an Überschwemmungen arrangieren. Alle Maßnahmen haben jedoch ihre Grenzen, und wenn diese einmal erreicht sind, müssen die Menschen möglicherweise letztendlich den Rückzug antreten. Die heute getroffenen Entscheidungen beeinflussen, wie Küstenökosysteme und -gemeinden in Zukunft auf den Meeresspiegelanstieg reagieren können. Eine Verringerung der Treibhausgasemissionen würde nicht nur die Risiken reduzieren, sondern auch mehr Anpassungsoptionen eröffnen.

Der mittlere globale Meeresspiegel steigt und wird dies noch Jahrhunderte lang weiterhin tun. Bestrebungen für nachhaltige Entwicklung sind gefährdet, weil sich viele Menschen, Güter und lebenswichtige Ressourcen an den niedrig gelegenen Küsten der Welt konzentrieren. Viele Küstengemeinden haben begonnen, sich mit den Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs auseinanderzusetzen. Es werden Maßnahmen ergriffen, um den Gefahren an den Küsten entgegenzuwirken, die durch den Anstieg des Meeresspiegels verstärkt werden, wie zum Beispiel Küstenüberschwemmung aufgrund von Extremereignissen (zum Beispiel Sturmfluten, tropische Wirbelstürme, Küstenerosion und Versalzung). Viele Küstengemeinden sind jedoch immer noch nicht ausreichend an die Extremwerte der heutigen Meeresspiegel angepasst.

Die wissenschaftlichen Belege für den Meeresspiegelanstieg sind eindeutig: Der mittlere globale Meeresspiegel stieg im Zeitraum 1901–1990 um 1,5 mm pro Jahr, was sich im Zeitraum 2005–2015 auf 3,6 mm pro Jahr beschleunigte. Es ist wahrscheinlich, dass er bis 2100 um 0,61–1,10 m ansteigt, wenn die globalen Treibhausgasemissionen nicht gemindert werden (RCP8.5). Ein Anstieg um zwei oder mehr Meter kann jedoch nicht ausgeschlossen werden. Er könnte bis 2300 auf mehr als 3 m ansteigen, je nach Höhe der Treibhausgasemissionen und der Reaktion des Antarktischen Eisschildes, die beide mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Selbst mit sehr wirksamen Bemühungen zur Emissionsminderung werden extreme Meeresspiegelereignisse, die während des vergangenen Jahrhunderts selten waren, noch vor 2100 und an vielen Orten sogar vor 2050 üblich werden. Ohne ehrgeizige Anpassung werden die kombinierten Folgen von Gefahren wie Küstenstürmen und sehr hohen Gezeitenständen die Häufigkeit und Schwere von Überschwemmungen an niedrig gelegenen Küsten drastisch erhöhen.

Sowohl der Meeresspiegelanstieg als auch der Anpassungskontext werden sich je nach Region und Ort unterscheiden, so dass Maßnahmen zur Verringerung der Risiken im Zusammenhang mit dem Meeresspiegelanstieg je nach den lokalen Gegebenheiten unterschiedliche Formen annehmen. „Harter Küstenschutz“, wie Deiche und Seemauern, kann das Risiko unter zwei oder mehr Metern Meeresspiegelanstieg wirksam verringern, aber man wird zwangsläufig an Grenzen stoßen. Der Nutzen eines solchen Schutzes ist in niedrig gelegenen, dicht besiedelten Küstengebieten wie vielen Küstenstädten und einigen kleinen Inseln größer als die Kosten, aber im Allgemeinen werden sich ärmere Regionen keinen harten Schutz leisten können. Die Erhaltung gesunder Küstenökosysteme wie Mangroven, Seegraswiesen oder Korallenriffe kann „weichen Schutz“ und andere Nutzen bringen. Man kann dem Meeresspiegelanstieg auch Rechnung tragen („Akkommodation“), indem man beispielsweise Gebäude an der Küste anhebt. Land kann durch Baumaßnahmen nach außen und oben wieder aus dem Meer zurückgewonnen werden. In Küstengebieten, in denen das Risiko sehr hoch ist und nicht wirksam reduziert werden kann, ist der „Rückzug“ von der Küste die einzige Möglichkeit, ein solches Risiko zu beseitigen. Durch die Vermeidung neuer Bebauungszusagen in Gebieten, die Küstengefahren und dem Anstieg des Meeresspiegels ausgesetzt sind, werden auch zusätzliche Risiken vermieden.

Für diejenigen, die sich keinen Schutz, Akkommodation oder Vorsorgemaßnahmen leisten können, oder in Fällen, wo solche Maßnahmen nicht mehr durchführbar oder wirksam sind, wird der Rückzug unumgänglich. Millionen von Menschen, die auf niedrig gelegenen Inseln leben, sind mit dieser Aussicht konfrontiert, darunter die Einwohner Kleiner Inselentwicklungsländer, einiger dicht besiedelter, aber weniger intensiv entwickelter Deltas, ländlicher Küstendörfer und -städte, sowie arktischer Gemeinden, die bereits mit schmelzendem Meereis und beispiellosen Wetteränderungen konfrontiert sind. Dies könnte verheerende Folgen für einzigartige Kulturen und Lebensweisen haben. Schwierige Abwägungen sind daher unvermeidlich, wenn es darum geht, gesellschaftliche Entscheidungen bezüglich des Meeresspiegelanstiegs zu treffen. Die Institutionalisierung von Prozessen, die zu fairen und gerechten Ergebnissen führen, ist eine Herausforderung, aber von entscheidender Bedeutung.

Die Entscheidungen, die jetzt darüber getroffen werden, wie auf den Meeresspiegelanstieg reagiert werden soll, beeinflussen den Verlauf der zukünftigen Exposition und Verwundbarkeit gegenüber dem Meeresspiegelanstieg hochgradig. Falls die gemeinschaftliche Emissionsminderung verzögert wird, werden die Risiken mit dem immer schneller steigenden Meeresspiegel immer weiter zunehmen. Die Aussichten auf globale Klimaresilienz und nachhaltige Entwicklung hängen daher zum großen Teil davon ab, dass die Küstenstaaten, -städte und -gemeinden zeitnahe und nachhaltige lokal angemessene Maßnahmen zur Minderung der Treibhausgasemissionen und zur Anpassung an den Meeresspiegelanstieg ergreifen.

FAQ 5.1 | Wie wird das Leben im Meer durch den Klimawandel beeinflusst?

Der Klimawandel stellt eine ernsthafte Bedrohung für das Leben in unseren Meeren dar, einschließlich der Korallenriffe und der Fischerei, mit Folgen für Meeresökosysteme, Wirtschaftssysteme und Gesellschaften, insbesondere für diejenigen, die am stärksten von natürlichen Ressourcen abhängig sind. Das Risiko, das vom Klimawandel ausgeht, kann durch die Begrenzung der globalen Erwärmung auf höchstens 1,5 °C verringert werden.

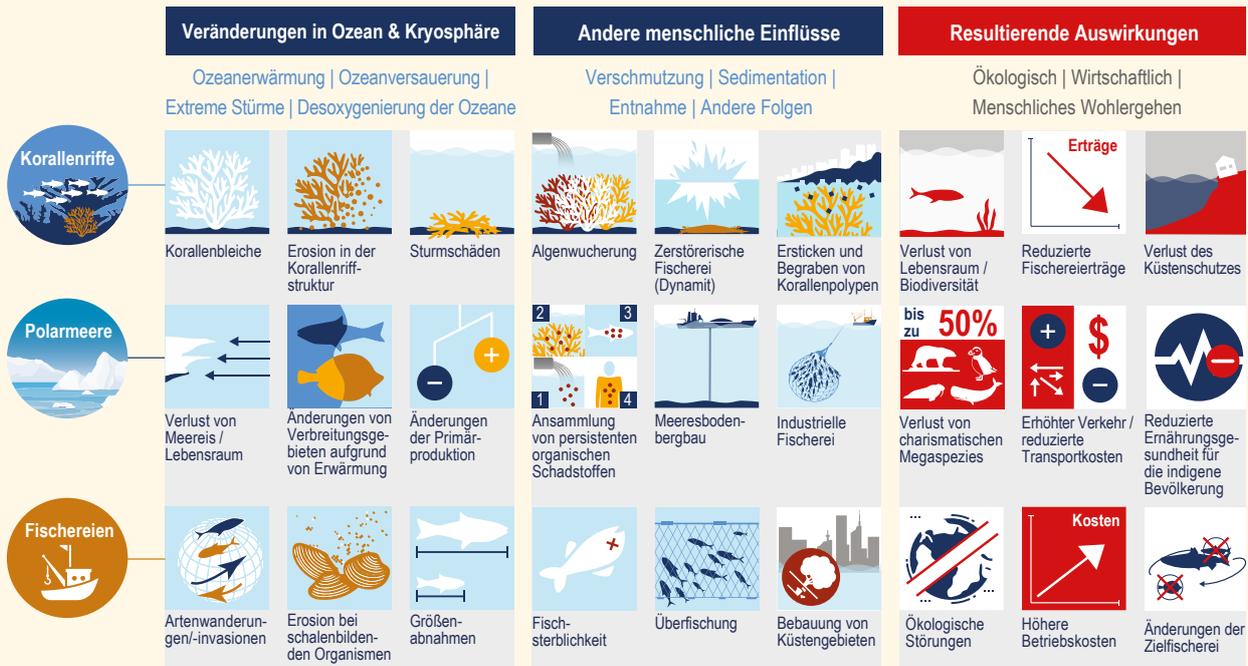
Das Leben im größten Teil des globalen Ozeans, von Pol zu Pol und von der Meeresoberfläche bis in die Tiefe, ist bereits erhöhten Temperaturen aufgrund des vom Menschen verursachten Klimawandels ausgesetzt. Vielerorts dürfte dieser Anstieg kaum messbar sein. An anderen Orten, insbesondere in oberflächennahem Wasser, hatte die Erwärmung bereits dramatische Folgen für Meerestiere, -pflanzen und -mikroben. Aufgrund eng miteinander verbundener Veränderungen in der Chemie des Meerwassers bleibt weniger Sauerstoff verfügbar (ein Prozess, der als Desoxygenierung der Ozeane bezeichnet wird). Das Meerwasser enthält mehr gelöstes Kohlendioxid, was zu Ozeanversauerung führt. Nichtklimatische Auswirkungen menschlicher Aktivitäten sind ebenfalls allgegenwärtig, darunter Überfischung und Verschmutzung. Während diese Stressfaktoren und ihre kombinierten Auswirkungen wahrscheinlich für fast alle Organismen, Nahrungsnetze und Ökosysteme im Meer schädlich sind, sind manche davon stärker gefährdet (FAQ 5.1, Abbildung 1). Die Folgen für die menschliche Gesellschaft können schwerwiegend sein, wenn nicht genügend Maßnahmen ergriffen werden, um den künftigen Klimawandel einzudämmen.

Warmwasserkorallenriffe beherbergen eine große Vielfalt an Meereslebewesen und sind für die tropische Fischerei und andere marine und menschliche Systeme sehr wichtig. Sie sind besonders verwundbar, da sie hohe Sterblichkeitsraten erleiden können, wenn die Wassertemperatur sich über einem Schwellenwert von 1–2 °C über dem Normalbereich hält. Solche Bedingungen traten zwischen 2015 und 2017 in vielen tropischen Meeren auf und führten zu einer ausgedehnten Korallenbleiche, als die Korallentierwirte ihre Algenpartner, auf die sie angewiesen sind, ausstießen. Nach dem Massensterben der Korallenriffe aufgrund einer Bleiche dauert die Erholung von Riffen normalerweise mindestens 10 bis 15 Jahre. Weitere Folgen des Klimawandels sind Meeresspiegelanstieg, Versauerung und Rifferosion. Während einige Korallenarten resilienter sind als andere und sich die Folgen von Region zu Region unterscheiden, scheint eine weitere Degradierung der Riffe aufgrund des zukünftigen Klimawandels inzwischen unvermeidlich. Dies hat schwerwiegende Konsequenzen für andere Meeres- und Küstenökosysteme, wie den Verlust des Küstenschutzes für viele Inseln und niedrig gelegene Gebiete sowie den Verlust der hohen Artenvielfalt, die diese Riffe beherbergen. Korallenlebensräume können auch in tieferen Gewässern und kühleren Meeren vorkommen, und es ist mehr Forschung nötig, um die Folgen in diesen Riffen zu verstehen. Obwohl diese Kaltwasserkorallen aufgrund ihrer kühleren Umgebung nicht durch Bleiche gefährdet sind, können sie durch die Ozeanversauerung und andere Veränderungen des Ozeans geschwächt werden oder sich auflösen.

Mobile Arten wie zum Beispiel Fische können auf den Klimawandel reagieren, indem sie in günstigere Regionen ziehen. Dabei verlagern sich die Populationen polwärts oder in tieferes Wasser, um ihren bevorzugten Wassertemperatur- oder Sauerstoffgehaltsbereich zu finden. Folglich zeigen Projektionen der gesamten zukünftigen Fischereierträge bei verschiedenen Klimawandelszenarien nur einen moderaten Rückgang von etwa 4 % (~3,4 Millionen Tonnen) pro Grad Celsius Erwärmung. Allerdings gibt es dramatische regionale Unterschiede. Bei starkem Klimawandel könnten die Fischereien in tropischen Regionen bis Ende dieses Jahrhunderts bis zur Hälfte ihrer derzeitigen Fangmengen verlieren. Die polaren Fangmengen könnten leicht steigen, wobei das Ausmaß dieser Zunahmen unsicher ist, da Fischpopulationen, die derzeit durch Überfischung dezimiert und anderen Stressfaktoren ausgesetzt sind, möglicherweise nicht in der Lage sind, in die Polarregionen abzuwandern, wie in den Modellen angenommen wird.

In den Polarmeeren sind Arten, die an das Leben auf oder unter dem Meereis angepasst sind, direkt durch einen Lebensraumverlust aufgrund des Klimawandels bedroht. Der Arktische und der Südliche Ozean beherbergen eine reiche Vielfalt an Leben, von winzigem Plankton über Fische, Krill und Wirbellose Meeresbodenbewohner bis hin zu Walen, Robben, Eisbären oder Pinguinen. Deren komplexe Wechselwirkungen können verändert werden, wenn neue Arten aus wärmeren Gewässern ihre Verbreitungsgebiete bei steigenden Meerestemperaturen erweitern. Die Auswirkungen der Versauerung auf Schalenorganismen sowie verstärkte menschliche Aktivitäten (zum Beispiel Schifffahrt) in eisfreien Gewässern können diese Störungen verstärken.

Während einige Folgen des Klimawandels (wie zum Beispiel mögliche höhere Fangmengen in den Polarregionen) den Menschen zugutekommen können, werden die meisten schädlich für Ökosysteme, Wirtschaft und Gesellschaft sein, insbesondere für diejenigen, die in hohem Maße von natürlichen Ressourcen abhängig sind. Die Folgen des Klimawandels lassen sich jedoch deutlich verringern, falls es der Welt als Ganzes durch zwischenstaatliche Interventionen gelingt, die globale Erwärmung auf höchstens 1,5 °C zu begrenzen.



FAQ 5.1 **Abbildung 1** | Schematische Zusammenfassung der Folgen und daraus resultierenden Auswirkungen des Klimawandels (Erwärmung, Versauerung, Stürme und Sauerstoffmangel) und anderer menschlicher Einflüsse für Korallenriffe, Polarmeere und Fischerei, die in dieser FAQ behandelt werden.

FAQ 6.1 | Wie kann man den Risiken abrupter Veränderungen in Ozean und Kryosphäre im Zusammenhang mit dem Klimawandel begegnen?

Treibhausgasemissionen zu verringern wird das Auftreten von Extremereignissen und die Wahrscheinlichkeit abrupter Veränderungen verringern. Abrupte Veränderungen können in menschlichen Zeiträumen unumkehrbar sein und als Kippunkte natürliche Systeme in neue Zustände überführen. Um die Risiken zu verringern, die sich aus diesen Folgen des Klimawandels ergeben, können sich Gemeinschaften selbst oder sich an die neue Umwelt anpassen. In letzter Konsequenz können sie sich aus exponierten Gebieten zurückziehen. Politische Steuerung und Koordination, die auf vielfältigem Fachwissen aufbaut und eine Vielzahl von Maßnahmen in Betracht zieht, ist am besten geeignet, die verbleibenden Risiken zu bewältigen.

Laut Projektionen wird der Klimawandel Extremereignisse beeinflussen und möglicherweise abrupte Veränderungen im Ozean und in der Kryosphäre verursachen. Diese beiden Phänomene können zu den anderen, langsam einsetzenden Auswirkungen des Klimawandels hinzukommen, wie z. B. einer globalen Erwärmung oder einem Anstieg des Meeresspiegels. Darüber hinaus können abrupte Veränderungen Kippunkte darstellen, die den Ozean und die Kryosphäre sowie ihre Ökosysteme oder das gesamte Klimasystem in neue Zustände überführen, statt zu den Bedingungen zurückzukehren, die vor der abrupten Veränderung herrschten.

Im Ozean ist eine mögliche abrupte Veränderung mit der Unterbrechung der Atlantischen Meridionalen Umwälzzirkulation (*Atlantic Meridional Overturning Circulation*, AMOC) verbunden, einer wichtigen Komponente der globalen Ozeanzirkulation. Eine Verlangsamung der AMOC könnte weltweit Auswirkungen zeigen: Die Niederschläge in der Sahelzone könnten zurückgehen und damit die Nutzpflanzenproduktion behindern, der Sommermonsun in Asien könnte sich abschwächen, die regionalen Meeresspiegelanstiege könnten rund um den Atlantik zunehmen, und es könnte mehr Winterstürme in Europa geben. Der Zusammenbruch des Westantarktischen Eisschildes gilt als einer der Kippunkte für das globale Klima. Ein solches Ereignis kann ausgelöst werden, wenn Eisschelfe brechen und Eis in den Ozean fließt. Während es im Allgemeinen schwierig ist, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von abrupten Klimaereignissen abzuschätzen, handelt es sich dabei um physikalisch plausible Ereignisse, die große Folgen für Ökosysteme und Gesellschaften haben könnten und möglicherweise unumkehrbar sind.

Treibhausgasemissionen zu verringern ist die wichtigste Maßnahme, um die globale Erwärmung auf ein akzeptables Niveau zu begrenzen und das Auftreten von Extremereignissen und abrupten Veränderungen zu reduzieren. Zusätzlich zu Minderungsmaßnahmen unterstützt jedoch eine Vielzahl von Maßnahmen und Risikomanagementstrategien die Anpassung an zukünftige Risiken. Zukünftige Risiken in Verbindung mit abrupten Veränderungen werden stark von den lokalen Bedingungen und den unterschiedlichen Merkmalen der Ereignisse selbst beeinflusst und entwickeln sich je nach den Umständen unterschiedlich. Ein wichtiger Faktor für die Anpassung ist, ob die Extremereignisse einfach nur die bekannten Folgen verstärken oder ob sie völlig neue Bedingungen verursachen werden, die mit einem Kippunkt verbunden sein können. Ein weiterer wesentlicher Faktor ist, ob ein Extremereignis oder eine abrupte Veränderung isoliert oder in Verbindung mit anderen Ereignissen, in einer Kette von kaskadenartigen Folgen oder als Teil eines zusammengesetzten Risikos auftreten wird. Bei Letzterem treten mehrere Ereignisse gleichzeitig auf, so dass sich die Folgen gegenseitig vervielfachen können. Außerdem werden Folgen stark durch eine zunehmende Exposition und geänderte Verwundbarkeit (zum Beispiel verringerte Nahrungsmittel-, Wasser- und Energieverfügbarkeit) verschärft, und nicht nur durch das Auftreten von Extremen selbst.

Eine erfolgreiche Bewältigung von Extremereignissen und abrupten Veränderungen in Ozean und Kryosphäre schließt alle verfügbaren Ressourcen und Governance-Ansätze ein, darunter zum Beispiel Landnutzungs- und Raumplanung, indigenes Wissen und lokales Wissen. Das Management der Risiken für Ökosysteme umfasst ihre Erhaltung, die nachhaltige Nutzung von Ressourcen und die Anerkennung des Wertes von Ökosystemleistungen. Es gibt drei allgemeine Ansätze, die allein oder in Kombination Gemeinschaften in die Lage versetzen können, sich an diese Ereignisse anzupassen: Rückzug aus dem Gebiet, Anpassung an neue Bedingungen und Schutzmaßnahmen. Alle sind mit Vor- und Nachteilen verbunden, und ihr Erfolg hängt von den spezifischen Umständen und dem Grad der Anpassungsfähigkeit der jeweiligen Gemeinschaft ab. Aber nur eine transformative politische Steuerung, die eine Vielzahl von Strategien und Vorteilen des institutionellen Wandels integriert, hilft bei der Bewältigung der größeren Risiken, die von zusammengesetzten Ereignissen ausgehen. Die Integration von Risikominderungsansätzen in die institutionelle Praxis und eine inklusive Entscheidungsfindung, die auf den jeweiligen Kompetenzen unterschiedlicher Regierungsbehörden und anderer Interessengruppen aufbaut, kann den Umgang mit diesen Extremen unterstützen. Eine Änderung der Lebensweise und der Existenzgrundlagen könnte die Anpassung an neue Bedingungen weiter unterstützen.

