

Das Filmprogramm zum

**WISSENSCHAFTSJAHR 2016\*17**

**MEERE UND OZEANE**



**Zwischen Himmel und Eis**

Pädagogisches Begleitmaterial

Eine Initiative des Bundesministeriums  
für Bildung und Forschung

Wissenschaftsjahr 2016 \* 17

**MEERE  
UND OZEANE**

## Wissenschaft, Kino und Schule

Mit dem Filmprogramm zum Wissenschaftsjahr 2016\*17 stellt VISION KINO umfangreiche Unterrichtsmaterialien zu drei Dokumentarfilmen und einem Animationsfilm zur Verfügung.

Folgende Filme stehen zum Rahmenthema „Meere und Ozeane“ zur Auswahl: ZWISCHEN HIMMEL UND EIS (Dokumentarfilm, 2014, ab 9. Klasse), THULETUVALU (Dokumentarfilm, 2014, ab 9. Klasse), DIE MELODIE DES MEERES (Animationsfilm, 2014, ab 2. Klasse), TORTUGA – DIE UNGLAUBLICHE REISE DER MEERESSCHILDKRÖTE (Dokumentarfilm, 2008, ab 1. Klasse)

Moderne Kamertechnik, faszinierende Ästhetik und eine spannende Erzählweise – mit ihren ganz eigenen Mitteln gelingt es den Filmen, den Zuschauer/innen faszinierende Natur- und Lebensräume nahezubringen. Immer ist auch der Mensch im Spiel: Er nutzt den Reichtum der Ozeane und bedroht sie durch tiefgreifende Veränderungen mittlerweile substantiell.

Wie funktionieren die komplexen ökologischen Systeme in den Tiefen der Meere? Was verändert sich durch den Klimawandel? Die Filme beantworten viele Fragen und werfen neue auf. Sie berühren auch Lernbereiche jenseits von Sachunterricht und Naturwissenschaften.

Die Unterrichtsmaterialien vertiefen und erweitern die filmischen Inhalte und begleiten die inhaltliche und filmische Analyse. Sie wurden in Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Einrichtungen erstellt und beziehen aktuelle Forschungsfragen mit ein. Der Aufbau der Materialpakete ist jeweils der gleiche: Im Einführungsteil „Der Film“ finden sich Informationen zu Inhalt und filmischer Realisierung. Die „Hinweise für Lehrer/innen“ enthalten didaktische Kommentare sowie Lösungsvorschläge zu den Arbeitsmaterialien.

Die Arbeitsmaterialien gliedern sich in einen Teil mit allgemeinem Bezug zum Oberthema „Ozeane und Meere“ sowie einen Teil mit filmbezogenen Materialien und Aufgaben.

Wir wünschen Ihnen eindruckliche Kinoerlebnisse sowie eine produktive Vor- und Nachbereitung unseres Filmprogramms!

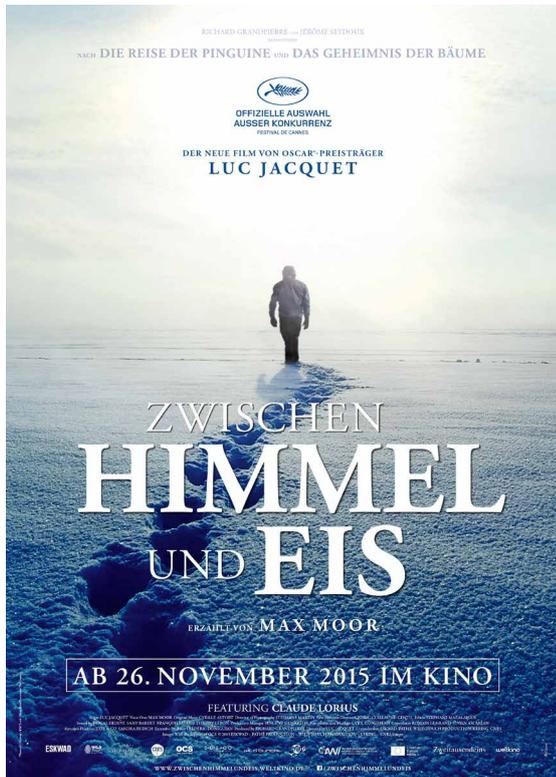
### Inhaltsverzeichnis

<b>Der Film</b> .....	3
<b>Hinweise für Lehrer/innen</b> .....	6
<b>Arbeitsmaterialien "Meeresforschung"</b> .....	13
<b>Arbeitsmaterialien zum Film</b> .....	33
<b>Impressum</b> .....	50

# Pädagogisches Begleitmaterial zu den SchulKinoWochen im Wissenschaftsjahr 2016 – Meere und Ozeane



## Zwischen Himmel und Eis



### Zwischen Himmel und Eis (La glace et le ciel)

Frankreich 2015

**Genre:** Dokumentarfilm

**Regie und Drehbuch:** Luc Jacquet

**Mitwirkende:** Claude Lorius

**Deutscher Sprecher:** Max Moor

**Laufzeit:** 89 Minuten

**FSK:** Ohne Altersbeschränkung

**Altersempfehlung:** ab 14 Jahren

**Klassenstufen:** ab 9. Klasse

### Themen:

Klimawandel, Forschung, Antarktis, Glaziologie, Ökologie, Technik/Neue Technologien, Wissenschaft und Verantwortung, Naturerfahrung

### Unterrichtsfächer:

Geografie, Politik, Sozial- und Gemeinschaftskunde, Ethik, Religion, Philosophie, Deutsch, Physik, Chemie, Biologie

## Inhalt des Films

In der Rückschau auf sein abwechslungsreiches Berufsleben erzählt der 82-jährige Glaziologe (Eisforscher) Claude Lorius von den Stationen seiner wissenschaftlichen Karriere. Als 23-jähriger Student bekommt er die Chance, an einer Antarktis-Expedition teilzunehmen – zu diesem Zeitpunkt – Mitte der 1950er Jahre ein einmaliges Abenteuer für einen jungen Mann.

Das, was Lorius dann erlebt, wird den weiteren Verlauf seines Lebens prägen: Eine entbehrungsreiche Reise durch Stürme, Eis und Schnee beginnt und bringt ihn an die Grenzen der körperlichen Belastbarkeit. Die Forschungsstation, in der Lorius zusammen mit zwei anderen jungen Wissenschaftlern den antarktischen Sommer bei durchschnittlich -25 Grad verbringen wird, ist eine Höhle, die man ins Eis gegraben und mit lebensnotwendigen Einrichtungsgegenständen ausgestattet hat. Trotzdem: Voller Euphorie stürzen sich Lorius und seine Kollegen in die Arbeit, sie führen Experimente und Messungen durch, genießen das einfache Leben in einer unendlichen Wüste aus Eis und werden erst Monate später wieder andere Menschen zu sehen bekommen.

Während dieser Reise wird aus dem Abenteuer ein Wissenschaftler, der bereits hier sein Lebensthema entdeckt: Die Erforschung des antarktischen Eispanzers. Dreitausend Meter hoch liegt das Eis auf dem Felssockel und verrät eine Menge über die Vergangenheit. Bohrt man in die Tiefe, trifft man auf immer ältere Eisschichten – ihre Isotopenzusammensetzung erlaubt die Rekonstruktion des Klimas über Hunderttausende von Jahren.

Lorius ist fasziniert von dem Gedanken, herauszufinden, was das Eis zu erzählen hat. In vielen weiteren Expeditionen ist er maßgeblich daran beteiligt, die heutigen modernen Instrumen-

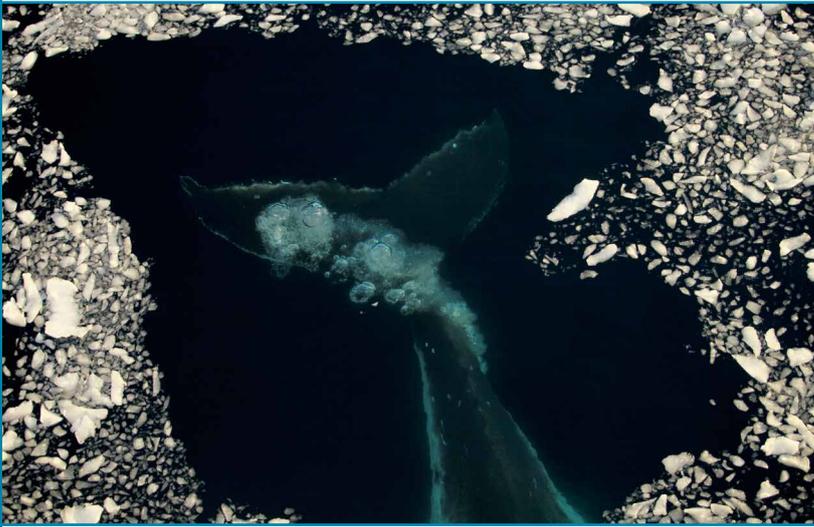
tarien zu entwickeln, durch die wir die Klimageschichte der Erde mittlerweile sehr genau kennen. Lorius wird zu einem anerkannten Forscher und übernimmt leitende Funktionen in französischen Wissenschaftseinrichtungen. Aber der junge Student hat aus der Antarktis noch etwas anderes mitgebracht: Respekt vor der Macht und der Verletzlichkeit einer einmaligen, einer schönen und manchmal entfesselten Natur. Seine Arbeit lässt Lorius demütig werden vor den großen Zeiträumen und den geologischen Kräften, denen gegenüber der einzelne Mensch nur ein Lufthauch ist.

Allerdings kommt Lorius bereits früh einem Verdacht auf die Spur – dass die industrialisierte Welt in der Natur Spuren hinterlässt und sie auf Dauer verändert. Die Erkenntnisse der Glaziologie liefern starke Indizien für einen von Menschen verursachten Klimawandel. Diese Einsichten und sein von Humanität angetriebenes Forscherethos lassen Lorius zu einem politischen Wissenschaftler werden: Zwischen seinen Forschungsreisen tritt er in den Medien auf und appelliert an die Politik, die Hinweise auf die Veränderungen des Klimas ernst zu nehmen.

Und so steht der 82-jährige nun wieder in der Antarktis und blickt auf das schwindende Eis. Er studiert die schrumpfenden Gletscher und den steigenden Meeresspiegel. All dies ist Teil einer Entwicklung, die von der Wissenschaft vorhergesagt wurde. Lorius ist dankbar für die vielfältigen Erfahrungen und Erlebnisse in seinem Leben, aber auch nachdenklich und voller Sorge beim Blick in die Zukunft. Das Ziel lautet: Das Überleben der Menschen sichern. Lorius hat erfahren, dass man als Einzelner im Leben große Herausforderungen bewältigen kann – und er glaubt, dass den Menschen dies auch im großen Maßstab gelingen wird.

## Filmische Realisierung

ZWISCHEN HIMMEL UND EIS beginnt in der Gegenwart: Ein alter Mann in einer kargen Landschaft. Der freundliche Blick des Mannes schafft Vertrauen, und so begibt man sich gerne



in die Hand dieses klugen Erzählers. Der Film visualisiert das Zusammenspiel von Mensch und Natur in eindrucksvollen Landschaftsbildern, in denen Lorius symbolträchtig über tauende Gletscher schreitet, im steigenden Meerwasser steht oder durch die Überreste eines niedergebrannten Waldes streift.

Aus dieser Gegenwartsebene heraus beginnt Lorius mit der Erzählung seiner Forschungsgeschichte, die unterlegt ist mit historischen Filmaufnahmen; viele davon dürften von ihm selbst stammen. Man sieht Männer, die sich mit primitivem Gerät durch Eisstürme quälen, die filigrane Messstationen errichten, die in ihrer Forschungshöhle sitzen und mit einem Glas Rotwein und einem selbst gekochten Essen so etwas wie Behaglichkeit hervorbringen. Die dokumentarischen Aufnahmen lassen die Zuschauer/innen teilhaben an der Aufbruchsstimmung einer noch jungen Wissenschaft,

die von jungen Menschen vorangetrieben wurde. Sie zeigen auch die Verläufe und Krisen späterer Forschungsexpeditionen, zunehmende Komplexität der Experimentiermethoden und wachsenden technischen Aufwand. Während die Rückblenden immer näher an die Gegenwart rücken, wird auch die Erkenntnis immer klarer: Die Forschungsergebnisse sprechen dafür, dass ein von Menschen verursachter Klimawandel längst im Gange ist.

Zwischendurch kehrt der Film immer wieder in die Gegenwartsebene zurück. Er zeigt Lorius und lässt die Zuschauer/innen an seinen Reflexionen teilhaben. Es sind Gedanken über die Rolle des Menschen auf der Erde, über die Wunder der Natur, über wissenschaftliche Erfolge und Zweifel an der Handlungsfähigkeit des Menschen insgesamt. An den Übergängen zwischen den Erzählebenen spielt der Film auf raffinierte Weise mit den verschiedenen Zeitebenen. Er bietet symbolisch aufgeladene, aber nie aufdringliche Bilder an und hält eine Balance zwischen Problemorientierung und dem Schwelgen in grandiosen Landschaftsaufnahmen.



## Hinweise für Lehrer/innen

### Einführung zum Modul „Meeresforschung im Zeichen des Klimawandels“

Das Modul kann zur Vorbereitung auf die Beschäftigung mit den Filmen ZWISCHEN HIMMEL UND EIS und THULETUVALU eingesetzt werden.

#### Zielsetzung des Moduls:

- ▶ Einblicke in Themen und Ausrichtung der gegenwärtigen Meeresforschung erhalten (**Arbeitsmaterial D 1**)
- ▶ Auswirkungen des Klimawandels auf die Ozeane verstehen (**Arbeitsmaterial D 2**)
- ▶ Exemplarisch die Veränderungen innerhalb eines Ökosystems nachvollziehen (**Arbeitsmaterial D 3**)
- ▶ Das Verhältnis von Wissenschaft und Politik anhand eines Interviews verstehen und problematisieren (**Arbeitsmaterial D 4**)
- ▶ Einen Überblick über die internationale Klimapolitik bekommen (**Arbeitsmaterial D 5**)
- ▶ Entwicklung und Ziele bezüglich der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland analysieren und diskutieren (**Arbeitsmaterial D 6**)

**Zielgruppe:** Schülerinnen und Schüler ab Klasse 10

## Didaktische Vorüberlegungen

Selbst in den entlegensten Orten der Welt sind heute die Spuren der menschlichen Zivilisation tief eingegraben. Diese Erkenntnis vermitteln die beiden Dokumentarfilme ZWISCHEN HIMMEL UND EIS und THULETUVALU auf sehr unterschiedliche und nachdrückliche Weise. Sie zeigen die Natur in eindrucksvollen Bildern und rücken sie in einen sozialen Zusammenhang: Wie leben Menschen an fernen Orten, wie reagieren sie auf Veränderungen, wie gehen sie mit der Erkenntnis um, dass sich etwas sehr Grundlegendes mit der sie umgebenden Natur verändert?

Das Verhältnis von Mensch und Natur prägt auch die Themen der Meeres- und Polarforschung. Es geht darum, die großen geophysikalischen und ökologischen Systeme zu verstehen, um den Einfluss des Menschen abschätzen zu können. Welche Wirkung haben Einflussgrößen

wie CO<sub>2</sub>, Temperatur, Sauerstoffgehalt, Säuregrad und Salzgehalt auf Pflanzen und Tiere in den Meeren? Welche Folgen hat es, dass der Mensch an grundlegenden Stellschrauben dreht – und das seit Beginn der Industrialisierung?

In der Meeres- und Polarforschung fließt im wahrsten Sinne vieles zusammen: Ursprünglich naturwissenschaftlich ausgerichtet, muss sie heute die Grenzen ihrer traditionellen Fachlichkeit überschreiten. Etwas zugespitzt ausgedrückt: Über Austern, Meerestemperatur und Laichverhalten zu sprechen, ist zu einem Politikum geworden. Es ist eines der größten politischen Verfahren in Gang gekommen, die es jemals gegeben hat: Der Versuch einer global abgestimmten Klimapolitik auf der Basis regelmäßig aktualisierter wissenschaftlicher Expertisen.

Es wäre also naiv, die heutige Meeres- und Polarforschung nur als das Erkunden von biologischen, physikalischen und chemischen Prozessen zu beschreiben. Diese Arbeit erledigt sie mit wissenschaftlicher Präzision und

moderner Technik. Aber längst ist die Wissenschaft auch zu einem Baustein regionaler, nationaler und internationaler Politik geworden. Wie verändert sie sich unter diesen Rahmenbedingungen? Wie organisiert sie sich? Was heißt hier noch wissenschaftliche Neutralität?

Die Materialien zur Meeresforschung sollen beide Seiten abbilden: naturwissenschaftliche Aspekte, aber auch die Frage nach dem gesellschaftlichen Zusammenhang, nach dem Verhältnis zur Politik und die Grenzen wissenschaftlicher Neutralität. So drängend die Probleme sind, die mit dem Klimawandel einhergehen, so spannend und anregend stellt sich dieser grenzüberschreitende Charakter von Wissenschaft dar.

Er ist im direkten Austausch mit profilierten Wissenschaftlern/innen vermutlich am besten nachvollziehbar – deshalb bilden zwei Interviews mit jeweils unterschiedlicher Schwerpunktsetzung den Kern der Unterrichtsmaterialien. Im Gespräch mit dem Meeresforscher Hans-Otto Pörtner, der kürzlich in eine führende Position im Weltklimarat gewählt wurde, geht es um konkrete Auswirkungen des Klimawandels auf die Ozeane, um Verlässlichkeit von Vorhersagen und Szenarien für die Zukunft der Meere. Pörtner bezieht als Klimaforscher deutlich Position und scheut sich nicht,

politische Entscheidungen zu bewerten. Dieses Verhältnis zwischen Wissenschaft und Politik wiederum ist dann Schwerpunkt des Gesprächs mit Marie-Luise Beck, der Geschäftsführerin des deutschen Klima-Konsortiums, einem Zusammenschluss führender wissenschaftlicher Einrichtungen. Welche Möglichkeiten und Grenzen der Einflussnahme von Wissenschaft gibt es? Inwieweit ist die Arbeit des Weltklimarates beispielhaft? Wie verändert sich Wissenschaft, wenn sie in interessengeleitete Konflikte hineingezogen wird, wie sie in der Politik an der Tagesordnung sind?

Die Materialien zwischen diesen beiden größeren Textbausteinen dienen der Vertiefung und Problematisierung einzelner Aspekte. Das gilt sowohl für naturwissenschaftliche Zusammenhänge wie auch für die Entwicklung der internationalen und nationalen Klimapolitik. Aus der Komplexität der Thematik ergeben sich zwei Folgerungen: Erstens beschränken sich die Materialien auf exemplarische Einblicke. Und zweitens hat die Erarbeitung dieses Themenkomplexes notwendigerweise einen fächerverbindenden Charakter. Die naturwissenschaftlichen Grundlagen berühren die Fächer Biologie, Physik und Chemie, die politischen Implikationen führen in die gesellschaftswissenschaftlichen Fächer hinein.



## Die Unterrichtsmaterialien

Das Interview mit Hans-Otto Pörtner (**Arbeitsmaterial D 1**) thematisiert zunächst die Folgen des Klimawandels für den Bereich der Ozeane und Meere. Es werden globale Auswirkungen erwähnt, mit dem Beispiel der Warmwasserkorallen aber auch ganz konkrete Risiken benannt. Pörtner ordnet die geophysischen Daten ein in den Prozess der globalen Klimapolitik und bezieht persönlich Stellung zu einzelnen Maßnahmen, die er für sinnvoll und notwendig hält. Die Aufgaben folgen dem Gesprächsverlauf und zielen darauf ab, Inhalte zu sichern und zu problematisieren.

**Betrachtung des gesamten Ozeansystems:** Am Beispiel der Warmwasserkorallen erläutert Pörtner systemische Zusammenhänge. Die Erwärmung führt zu einer Auflösung einer symbiotischen Verbindung zwischen Korallen und Algen (Ausbleichung); die Korallen haben eine wichtige Funktion für andere Meereslebewesen und auch für Menschen (Schutz vor Stürmen, Fischerei). Insofern ist es wichtig, die veränderten Lebensbedingungen nicht nur in ihren konkreten Auswirkungen zu analysieren, sondern auch Folgewirkungen und Kettenreaktionen einzubeziehen. Verschiedene Faktoren wie Temperaturerhöhung, Versauerung und Sauerstoffreduktion verstärken sich gegenseitig.

**Mögliche Maßnahmen:** Der Schlüssel dürfte in der Reduktion des wichtigsten Treibhausgases Kohlendioxid liegen. Pörtner erwähnt als Beispiele das Verbot, Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor neu in den Verkehr zu bringen, und den Ausbau der Energieinfrastruktur in den Entwicklungsländern.

Fünf wesentliche Folgen des Klimawandels für die Ozeane werden auf **Arbeitsmaterial D 2** ausführlicher dargestellt und mit Daten unterlegt.

**Größte Temperaturdifferenzen:** Nördlicher Atlantik, bis zu 0,3 Grad pro Dekade  
Ursachen für den sinkenden Sauerstoffgehalt: Erwärmung des Wassers und Schichtbildung

**Thermohaline Strömung:** Die Kombination aus Temperatur (je kälter, desto schwerer) und Salzgehalt (je salziger, desto schwerer) bildet einen wesentlichen Antrieb für die globalen Meeresströmungen.

**Ursachen für den Anstieg des Meeresspiegels:** Das Abschmelzen von Festlandeis, die Ausdehnung des Wassers infolge der Erwärmung

**Arbeitsmaterial D 3** zeigt am Beispiel der Pazifischen Auster, wie sich eine neu eingewanderte Art etabliert.

**Auswirkungen auf bestehende Ökosysteme:** Verdrängung angestammter Arten, dadurch evtl. Unterbrechung/Störung von Nahrungsketten; ungebremstes Wachstum bei fehlenden Fressfeinden; Etablierung neuer Nahrungsketten

**Gründe für die hohe Zahl neuer Arten:** Die Nordsee ist ein Gebiet mit sehr viel Schifffahrt, der Haupteinwanderungsweg. Temperaturanstieg begünstigt die Ansiedlung von Arten aus wärmeren Gegenden.

**Andere Neozoen und Neophyten:** z.B. Riesenbärlauch, Nutria

Das Interview mit Marie-Luise Beck (**Arbeitsmaterial D 4**) thematisiert in erster Linie das Verhältnis von (Klima)wissenschaft und Politik bzw. die Rolle der Wissenschaft in der Gesellschaft des 21. Jahrhunderts.

**Wissenschaft als Grundlage für politische Entscheidungen:** Viele Politikbereiche sind auf wissenschaftliche Beratung angewiesen; durch komplexer werdende Problemlagen, aber auch verbesserte wissenschaftliche Methodik nimmt die Notwendigkeit wissenschaftsbasierter Politikentscheidungen zu.

**Arbeitsweise des IPCC:** Keine Forschungstätigkeit, sondern Zusammenstellung der aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse; Entwicklung von Lösungsszenarien; Zusammenwirken von Wissenschaft, Regierungsvertreter/innen und Nichtregierungsorganisationen bei der Formulierung der entscheidenden Empfehlungen → Kombination aus hohem wissenschaftlichem Niveau und Einbeziehung verschiedener Blickwinkel → gute Voraussetzung für hochwertige Ergebnisse; Kritiker merken an, dass politische Entscheidungsträger die Zusammenfassungen zu beeinflussen versuchen.

**Einmischung von Wissenschaft in Politik:** Pro-Argumente: Wissenschaftler/innen sind auch Bürger/innen; es gilt für alle Meinungsfreiheit; sie können ihr Handeln gut begründen; Contra-Argumente: die wissenschaftliche Arbeit wird weniger glaubwürdig; es entstehen Interessenskonflikte, wenn wissenschaftliche Untersuchungen die „falschen“ Ergebnisse erbringen; Wissenschaft soll Fakten für eine sachliche Diskussion bereitstellen, aber nur Politiker sind demokratisch legitimiert Entscheidungen zu treffen.

**Betroffene gesellschaftliche Bereiche:** In erster Linie Verkehr, Industrie und Wohnen. In einer hochgradig ausdifferenzierten Gesellschaft bedeutet das, dass nahezu jede Handlung des täglichen Lebens mit Energieverbrauch und damit auch mit Klimapolitik verknüpft ist.

**Psychologen und Soziologen:** Klimapolitik verändert den Alltag, es muss eine hohe Akzeptanz erzielt werden und die Bereitschaft, Lebensgewohnheiten zu verändern.

Grundlegende Informationen über die Entwicklung der internationalen Klimapolitik (**Arbeitsmaterial D 5**) und eine Übersicht über Treibhausgas-Emissionen in Deutschland (**Arbeitsmaterial D 6**) verdeutlichen, dass der Umgang mit dem Klimawandel ein komplizierter politischer Prozess ist, in dem widerstrebende Interessen aufeinander treffen und ein entschlossenes Handeln blockieren.

**Zentrale Themen und Streitpunkte:** Fehlende Einsicht einer grundsätzlichen Handlungsnotwendigkeit; Disput zwischen Industrieländern und Entwicklungsländern über Verantwortlichkeit und individuellen Beitrag zur Treibhausgas-Reduktion; Finanzierung von Ausgleichsmaßnahmen.

**Bewertung des Abkommens von Paris:** Das Abkommen wird von allen Staaten getragen und auch von bisherigen „Blockierern“ ohne Zeitverzug ratifiziert. Es enthält ehrgeizige Ziele, auch auf lange Sicht. Die stärkere Individualisierung und das Prinzip selbstgesetzter Klimaziele entschärfen die o.g. Konflikte, bergen aber die Gefahr, dass die einzelnen Festlegungen insgesamt zu geringe Effekte erzeugen.

**Entwicklung in Deutschland:** Auf den ersten Blick eine beachtliche Reduktion in den Jahren nach 1990; ohne den Effekt durch die Stilllegung ostdeutscher Industriebetriebe nur geringe Reduktion. Starke Reduktion im Jahr 2009 ist v.a. durch Wirtschaftskrise zu erklären.

**Klimaziele der Bundesregierung:** Bei Fortschreibung der Entwicklung der letzten Jahre wird das Ziel für 2020 verfehlt. Jüngste Entwicklungen (EEG-Novelle, Verzögerungen beim Leitungsausbau, wachsender Straßenverkehr, geringe Zahl von energetischen Haussanierungen) lassen vermuten, dass die Reduktionsziele nicht mehr erreicht werden können.

## Hinweise für Lehrer/innen

### Einführung zu den Unterrichtsmaterialien zum Film ZWISCHEN HIMMEL UND EIS

Die Materialien zum Film dienen im Wesentlichen zwei Zielen: Sie geben den Schülern/innen Gelegenheit, die dargestellten wissenschaftlichen Erkenntnisse und Methoden besser zu verstehen, und sie thematisieren die Erzählweise des Films. Grundsätzlich können auch Schüler/innen der Sekundarstufe I (etwa ab 9 Klasse) mit den Materialien arbeiten, allerdings ist es dann ratsam, sich vor allem auf die beschreibenden Aufgaben zu konzentrieren und die analytischen Aufgaben wegzulassen oder sich ihnen im gemeinsamen Gespräch anzunähern.

**Arbeitsmaterial E 1** liefert biografische Informationen zu Claude Lorius und soll die Schüler/innen anregen, Vorerwartungen und mögliche Fragen zu formulieren. Das kann gerade bei einem Dokumentarfilm hilfreich sein, um eine hohe Aufmerksamkeit zu erreichen. Zudem können vorweg formulierte Fragen helfen, Besonderheiten zu benennen und Kriterien für eine Urteilsbildung zu entwickeln und zu überprüfen.

Lorius' wichtigstes Forschungsgebiet ist die Analyse von Tiefenschichten im Festlandeis. Die **Arbeitsmaterialien E 2/3** erklären die geophysikalischen Grundlagen und Methoden dieses Teilbereichs innerhalb der Glaziologie. Möglicherweise können die Schüler/innen den Film umfassender verstehen, wenn sie sich schon vor der Filmbeachtung mit diesem Thema beschäftigt haben.

**Ablagerung von Schnee:** Die unteren Schneeschichten werden durch das Gewicht des Neuschnees zu Firn und dann zu Eis verdichtet. Sie wandern immer weiter in die Tiefe, wo sie durch den Druck von oben allmählich zur Seite fließen.

**Massenbilanz eines Eisschildes oder Gletschers:** Die Differenz zwischen neu hinzukommendem Schnee/Eis und abschmelzendem Eis. Ist die Massenbilanz negativ, schrumpft der Gletscher.

**Schnee an der Oberfläche und Eis im unteren Bereich eines Eisschildes:** Durch das Zusammenpressen verändert sich die Dichte; die chemische Zusammensetzung der eingeschlossenen Luft bleibt gleich, sodass sie auch noch nach Jahrtausenden analysiert werden kann.

**Klimaarchiv:** Der Schnee in der Antarktis oder in Grönland taut nicht, sondern bleibt liegen und wird von weiteren Schneefällen bedeckt. Es entsteht eine Schichtung, die sich über Jahrtausende aufbaut. Vor allem die eingeschlossenen Luftbläschen bieten hochwertige Informationen, ähnlich einem Labor, in dem über Jahrtausende hinweg jedes Jahr Luftproben archiviert worden wären.

**Drei Informationen:** Zusammensetzung der Luft, Temperatur, Niederschlagsmenge

**Zeitliche Obergrenze:** Da das Eis in der Tiefe durch den immer weiter steigenden Druck zur Seite gedrückt wird und nach außen abfließt, ist das Klimaarchiv begrenzt.

**Unterschiedliche Eisbohrkerne:** Das Eis in 20 Metern Tiefe ist noch nicht so stark verdichtet wie in 2.000 Meter Tiefe. Dort ist in einem gleich langen Eisbohrkern ein wesentlich größerer Zeitraum abgebildet.

Die längste Sequenz des Films thematisiert Lorius' erste Forschungsreise Mitte der 1950er Jahre – zweifellos bietet das dokumentarische Material einen interessanten Einblick in die Realität der Polarforschung vor 60 Jahren. Als Kontrast dazu zeigt die Bilderserie in **Arbeitsmaterial E 4** eine Expedition mit ähnlichen Zielsetzungen aus dem Jahr 2013. Es wird erkennbar, dass der Einsatz moderner Technik zwar viele Dinge erleichtert, dass aber auch heute kleinformatische Forschungsvorhaben unter einfachen Bedingungen stattfinden und hohe körperliche und mentale Anforderungen stellen.

Das Interview mit dem Glaziologen Frank Wilhelms (**Arbeitsmaterial E 5**) vermittelt einen persönlichen Blick auf den Forschungsbereich, in dem Claude Lorius tätig war. Zudem wird die Bedeutung der Eiskernbohrungen und der Klimageschichtsforschung im Zusammenhang mit dem Klimawandel thematisiert. Der Zusatztext geht auf die angesprochenen Zusammenhänge ein und verdeutlicht, dass schon vor über 100 Jahren grundlegende Erkenntnisse vorlagen, um einen Einfluss des Menschen auf das Klima zu vermuten. Das Diagramm zeigt auf eindrucksvolle Weise, wie die Werte für CO<sub>2</sub> und Methan in der Gegenwart den natürlichen Schwankungsbereich verlassen haben. Ein zwingender Beweis für einen Klimawandel ist das nicht, wohl aber ein starkes Indiz für grundlegende Veränderungen in der Atmosphäre durch den Einfluss des Menschen.

**Arbeitsmaterial E 6** fragt nach den sich verändernden Bedingungen und der medialen Darstellung von Polarforschung.

**Bildvergleich:** Augenfällig sind Unterschiede hinsichtlich der Werkzeuge, Arbeitsmaterialien, Kleidung und Ausstattung; die fotografi-

sche Inszenierung in dem Bild aus den 1950er Jahren ist deutlich zu erkennen: Arbeitsgeräte sind bewusst platziert; der Forscher wird in direktem Kontakt zum Eis und bei körperlicher Arbeit dargestellt. Das Foto von 2013 folgt zwar grundsätzlich ähnlichen Mustern, ist aber weniger deutlich inszeniert; die Wissenschaftler wirken routinierter, das Bild eher zufällig, dokumentarischer.

**Forschungsbedingungen im Vergleich:** Auch in den 1950er Jahren war der technische Aufwand nicht unerheblich; das leibliche Wohl der Forscher wurde aber weit weniger planerisch berücksichtigt, als das heute der Fall ist. Insbesondere bei großen Forschungsmissionen steht beachtliche logistische, medizinische und technische Unterstützung zur Verfügung; die Kommunikationsmöglichkeiten haben sich verbessert; insgesamt gibt es hohe Sicherheitsstandards für die beteiligten Forscher. Das Vordringen in eine lebensfeindliche Umgebung wird nach wie vor als Herausforderung empfunden und dargestellt; die technische und logistische Unterstützung wird in Text-, Bild- und audiovisuellen Medien im Sinne einer modernen Wissenschaftsvermittlung einbezogen: Wissenschaft wird attraktiv gemacht durch die Instrumente, die sie einsetzt.

Als Abenteuer- und Entdeckungsreisen erinnert Claude Lorius seine Antarktisexpeditionen. Mit Blick auf die Forschungs-Expeditionen des 19. Jahrhunderts, die nicht wenige Menschen mit dem Leben bezahlt haben, kann dies schon relativiert werden. Heute würde man sich wohl weniger als Abenteurer und Entdecker bezeichnen, wohl aber noch als Pionier, wenn es darum geht, neue Wege der Forschung zu finden.

Der Film ZWISCHEN HIMMEL UND EIS erzählt Episoden aus Lorius' Forscherbiografie und verknüpft sie durch Einschübe auf einer Gegenwartsebene: Der Forscher blickt zurück und reflektiert seine Erfahrungen. Anhand eines Ausschnitts vom Beginn des Films können die Schüler/innen in **Arbeitsmaterial E 7** nachvollziehen, wie raffiniert und beziehungsreich der Film diese Ebenen verbindet und Lorius' Aussagen durch symbolhafte Bilder visuell erweitert.

Auf der Webseite der Unterrichtsmaterialien können Sie sich den Filmausschnitt ansehen: [www.wissenschaftsjahr-2016-2017.visionkino.de/zwischen-himmel-und-eis/arbeitsmaterialien-zum-film/e7-zwischen-himmel-und-eis-gestaltung-eines-thematischen-motivs-untersuchen/](http://www.wissenschaftsjahr-2016-2017.visionkino.de/zwischen-himmel-und-eis/arbeitsmaterialien-zum-film/e7-zwischen-himmel-und-eis-gestaltung-eines-thematischen-motivs-untersuchen/)

**Darstellung von Wissenschaft:** Personalisierung ist ein zentrales Mittel des Films. Claude Lorius als absolut glaubwürdiger Vertreter seiner Zunft ist optisch sehr präsent: Man sieht ihn in verschiedenen Landschaften, die von ihm erforscht wurden oder im Zusammenhang mit dem Klimawandel von Bedeutung sind. Lorius wandert, beobachtet, tastet, seine markanten Gesichtszüge stehen für die Klugheit und Erfahrung eines alten Mannes, seine blaue Allwetterjacke dient als durchlaufender Farbakzent in Landschaften, die von Weiß-, Grau- und Brauntönen geprägt wird. Auch verbal wird personalisiert – wissenschaftliche Erkenntnisse werden nicht objektiv geschildert, sondern es heißt: „Ich habe gesehen, dass die Menschen ...“

**Viele Landschaftsbilder visualisieren Schlüsselbegriffe der Klimadiskussion:** Meeresspiegelanstieg – Lorius steht im Wasser; Abtauen von Gletschern – er geht durch ein Rinnsal; Vernichtung der Wälder – er steht in einem niedergebrannten Wald

**Zeitebenen:** Lorius' Text kreist um Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft, er setzt die erdgeschichtliche Zeit in Beziehung zur Lebenszeit eines Menschen; auch auf der

Bildebene gibt es eine Vielzahl von Signalen und Symbolen, die Zeit thematisieren (Farnwedel im abgerannten Wald; Walgerippe; verfallenes Haus; Wellen am Ufer; Gletscher-Zeitraffer; zeitgleiches Erscheinen des alten und des jungen Lorius im Moment, in dem die biografische Erzählung beginnt)

**Dokumentarfilm-Genre:** Für alle drei Bezeichnungen, „Filmbiografie“, „Wissenschaftsfilm“ und „Filmessay“, gibt es gute Gründe; gerade die geschickte Verknüpfung verschiedener Dokumentarfilmtypen macht den Reiz von ZWISCHEN HIMMEL UND EIS aus. Keine der drei Dimensionen sollte fehlen, aber auch keine von ihnen allein wäre geeignet, den Film über 90 Minuten zu tragen.

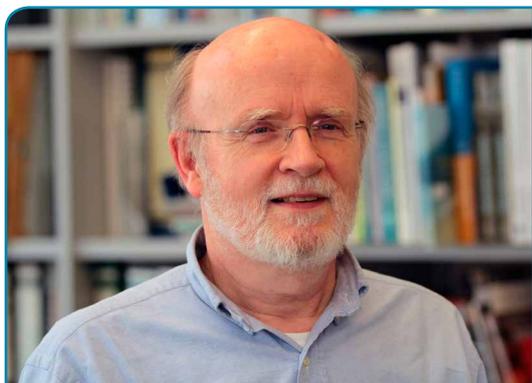
**Arbeitsmaterial E 8** nähert sich der visuellen Gestaltung noch einmal von einer anderen Seite: Es fällt immer wieder auf, wie der Film seinen Protagonisten in eindrucksvolle Landschaften platziert, ihn aus ungewöhnlichen Perspektiven und in extremen Einstellungsgrößen zeigt. So werden die Fragen des Films visualisiert: Was macht der Mensch in der Natur, wie steht er zur Natur, was empfindet er im Angesicht ihrer Schönheit, ihrer Einsamkeit, ihrer Verletzlichkeit? Oder ist nicht die Natur verletzlich, sondern am Ende der Mensch? Die Bilder erzwingen keine bestimmte Fragestellung, sie lassen Spielraum für eigene Assoziationen, die von den Schülern/innen hier auch formuliert werden können.

**Bildvergleich:** Der Vergleich mit einem Bild von Caspar David Friedrich und mit einigen Grundideen der Romantik mag diesen Assoziationen zusätzlichen Antrieb geben. Natürlich fehlen einem Maler des 19. Jahrhunderts im Hinblick auf ökologisches Denken und naturwissenschaftlichen Erkenntnisfortschritt die Erfahrungen einer ganzen Epoche – trotzdem teilt Lorius mit ihm wohl das Gefühl, dass die Größe und Einsamkeit bestimmter Naturräume dem Menschen besonders eindrucksvolle Erlebnisse ermöglicht, die sich rationalen Erklärungen entziehen.

## Arbeitsmaterial D1 "Meeresforschung und Klimawandel"

### „Der Klimawandel läuft“

#### Interview mit dem Meeresforscher Hans-Otto Pörtner



Hans-Otto Pörtner ist einer der renommiertesten deutschen Meeresbiologen und Klimaforscher. Seit 2005 arbeitet er am Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, in Bremerhaven. Dort erforscht er unter anderem die Auswirkungen des Klimawandels auf die marinen Ökosysteme und einzelne Organismen. Auch mit der Rekonstruktion von Klimaveränderungen in früheren Epochen der Erdgeschichte beschäftigt er sich.

2015 wurde Pörtner zusammen mit Debra Roberts aus Südafrika zum Vorsitzenden der Arbeitsgruppe II beim Weltklimarat (IPCC) gewählt. Diese Arbeitsgruppe befasst sich mit den Risiken und Folgen des Klimawandels sowie mit Möglichkeiten zur Anpassung an den Klimawandel. Die Arbeitsgruppe wird den entsprechenden Abschnitt im nächsten Weltklimabericht erstellen, der bis zum Jahr 2022 erscheinen soll.

#### **Meeresforschung ist ja ein weites Feld mit vielen verschiedenen Disziplinen – Biologie, Geowissenschaften, Chemie, Physik - wie wichtig ist das Thema Klimawandel in der Meeresforschung?**

Das Thema hat einen sehr hohen Stellenwert, weil sich letztendlich das gesamte Funktionsgefüge der Ozeane unter dem Klimawandel verändert: Wir haben Veränderungen in den Ozeanströmungen, in der Temperatur, im CO<sub>2</sub>-Gehalt und im Sauerstoff-Gehalt; an den Stellen, an denen die Ozeane mit Eisflächen in Berührung sind, sinkt der Salzgehalt und wir haben eine Aussüßung; vor allem in den Sommermonaten verschwindet die Meereisdecke in der Arktis. Um wieder eine Situation zu erreichen, die vom Menschen unbeeinflusst ist, müssen wir zwei Jahrhunderte, also vor den Beginn der Industrialisierung, zurückgehen.

#### **In der Öffentlichkeit werden die Ozeane vor allem mit Blick auf den Meeresspiegelanstieg wahrgenommen. Sind die Veränderungen, die Sie gerade genannt haben, in der allgemeinen Wahrnehmung bislang unterschätzt worden?**

Das ist sicherlich so. Unterschätzt wird zum einen die Bedeutung der Ozeane für die Klimaregulation. Ohne die großen Wasserflächen hätten wir sehr viel extremere Ausschläge bei den Klimaveränderungen. Die Ozeane puffern sehr viel ab, sie verzögern den Klimawandel. Die zusätzlich aufgenommene Wärme ist bislang zu 93 Prozent in die Ozeane gegangen. Die Ozeane verlangsamen auch den CO<sub>2</sub>-Anstieg in der Atmosphäre, sie haben bislang schon ein Viertel des menschengemachten CO<sub>2</sub> aufgenommen – um den Preis der Ozeanversauerung.

## Arbeitsmaterial D1 "Meeresforschung und Klimawandel"

Diese Details werden in der Öffentlichkeit noch viel zu wenig gesehen. Aber auch beim Meeresspiegel zeigen die jüngeren Ergebnisse, dass da eine Dimension denkbar ist, die wir uns bisher noch nicht vorgestellt haben. Wir sprechen bisher vom Meeresspiegelanstieg zwischen 40 und 70 Zentimeter bis zum Ende des Jahrhunderts. Aber wenn wir erdgeschichtliche Perioden betrachten, die vergleichbare Temperaturen oder CO<sub>2</sub>-Konzentrationen hatten, dann sehen wir, dass die Erde auch höhere Meeresspiegel realisieren kann. Die Eismengen, die noch auf den Kontinenten dieses Planeten lagern, reichen aus, um einen Meeresspiegelanstieg von über 60 Metern zu ermöglichen.

Sie können sich vorstellen, dass das für die menschliche Zivilisation, die sich überwiegend in Küstennähe angesiedelt hat, nicht wünschenswert ist. Wir müssen heute Entscheidungen darüber treffen, welches Ausmaß die Probleme für zukünftige Generationen haben werden.

*„Wir werden, je nachdem, welche globale Temperaturentwicklung wir erreichen, die Korallenriffe großflächig verlieren.“*

### **Können Sie ein Beispiel nennen, wo die Folgen dieser Veränderungen jetzt schon sichtbar sind?**

Ein wichtiges Ökosystem, das vom Klimawandel massiv beeinträchtigt ist, ist das der Warmwasserkorallenriffe. Wir haben dort einen zentralen Prozess, der unter Erwärmung stattfindet: das ist die Korallenbleiche. In den Korallen leben symbiotische Algen, die Sonnenlicht einfangen und die Korallen mit organischem Material, also mit Energie versorgen. Diese Algen werden von ihrem Wirt abgestoßen, wenn das Wasser

wärmer wird. Das passiert in immer größeren Zeiträumen und immer großflächiger. Das Great Barrier Reef vor Australien hat durch diesen Effekt und durch andere menschliche Einflüsse bereits 50 Prozent seiner lebenden Korallen verloren. Gerade in letzter Zeit hat es durch den El Niño-Effekt<sup>1</sup> noch einmal einen größeren Schub gegeben. Kurzfristig können sich die Korallen von solchen Bleichen erholen, aber langfristig sterben sie ab.

### **Welche Bedeutung haben die Korallen im gesamten System des Ozeans?**

Die Warmwasserkorallen finden wir zwischen 30° nördlicher Breite und 30° südlicher Breite, dort, wo die Sonneneinstrahlung besonders hoch und das Wasser besonders klar ist. Korallen sind so genannte Ökosystem-Ingenieure – die bauen ein ganzes Ökosystem. Und in diesen Riffen findet sich eine Vielfalt an Lebewesen, vergleichbar mit der Vielfalt der tropischen Regenwälder, an deren Schicksal wir ja auch kräftig arbeiten.

Wir werden, je nachdem, welche globale Temperaturentwicklung wir erreichen, die Korallenriffe großflächig verlieren. Wenn wir das ehrgeizige 1,5-Grad-Ziel<sup>2</sup> erreichen, das Paris sich Ende letzten Jahres gesetzt hat, würden wir trotzdem 90 Prozent der Warmwasserkorallenriffe gefährden. Diese Systeme werden nicht komplett aussterben, aber sie werden da, wo sie verschwinden, auch ihre Dienstleistungen für den Menschen einstellen. Der Mensch ernährt sich von den Fischen, die mit diesen Riffen assoziiert sind. Die Riffe haben auch oft eine Schutzfunktion vor Stürmen und Wellen. Nicht zuletzt haben diese Riffe auch eine wichtige Funktion im Tourismus, was gerade in den Entwicklungsländern eine große Rolle spielt.

## Arbeitsmaterial D1 "Meeresforschung und Klimawandel"



Gesunde Korallen (links) bilden das Zentrum ganzer Ökosysteme. Bei zu hohen Wassertemperaturen stoßen sie die Algen ab, mit denen sie in einer Symbiose leben. Es kommt zur so genannten Korallenbleiche (rechts) und zum Absterben der Korallen.

*„Wir sehen den Beginn eines weiteren Massensterbens.“*

**Sie haben eine ganze Reihe von Veränderungen genannt, die unmittelbare oder mittelbare Folge des vom Menschen verursachten Klimawandels sind. Wie gut verstehen Sie denn heute das gesamte System Ozean, um präzise Vorhersagen zu machen?**

Die Sicherheit der Prognosen unterscheidet sich hinsichtlich der einzelnen Phänomene. Eine sehr sichere Prognose haben wir im Bereich der Ozeanversauerung, weil die Versauerung direkt davon abhängt, wie viel CO<sub>2</sub> wir in der Atmosphäre anreichern. Bisher sind wir auf einer Linie, die einer ungebremsten CO<sub>2</sub>-Zunahme entspricht – und da kann man berechnen, wie sich der Säuregrad im Ozean verändern wird.

Etwas unsicherer – aber auch noch relativ prägnant – ist die Prognose darüber, welche Auswirkungen dieses CO<sub>2</sub> auf die einzelnen Organismen hat. Da sehen wir unterschiedliche Empfindlichkeiten. Kalkbildner – Muscheln, Schnecken und auch wieder die Korallen – sind besonders betroffen, auch Seeigel und Seesterne.

Das sind Organismen, die für die Nahrungsketten eine wichtige Funktion haben und auch vom Menschen an den Küsten durch Fischerei genutzt werden.

Wenn es um den Bereich des abschmelzenden Meereises in der Arktis geht, dann gibt es da sicher auch Ungewissheiten, aber wir haben beispielsweise eine recht zuverlässige Prognose, dass wir in den Sommermonaten irgendwann eine eisfreie Arktis haben werden, wenn wir über das 1,5-Grad-Ziel deutlich hinausgehen werden. Dieses System wird dann verschwinden – und das wiederum hat Rückkopplungseffekte in das globale Klimasystem: Wenn der arktische Ozean mit Eis bedeckt ist, dann ist die Wärmeaufnahme sehr viel geringer, als wenn er eisfrei ist.

Kurz gesagt: Es gibt unterschiedliche Unsicherheiten, je nachdem, welches Phänomen man sich ansieht. Was man mit Sicherheit sagen kann, ist, dass der Mensch gut beraten ist, nicht zu warten, bis die Unsicherheiten verschwinden. Er wäre gut beraten, Entscheidungen zu fällen, die Vorsorge treffen, damit die prognostizierten Extreme nicht eintreffen. Der Klimawandel läuft – wir sehen

## Arbeitsmaterial D1 "Meeresforschung und Klimawandel"

Auswirkungen auf allen Kontinenten und in allen Weltmeeren. Ich denke, auch wenn die Prognosen eine gewisse Schwankungsbreite haben, sind sie doch sicher genug, um zu einem konsequenten Handeln anzuregen.

### Wie weit kann sich die Natur im Bereich der Ozeane an solche deutlichen Veränderungen anpassen – oder führen veränderte Lebensbedingungen zwingend zum Aussterben der betreffenden Arten?

Die Veränderungen der Nahrungsketten werden auch dazu führen, dass Arten verloren gehen. Das ist ein ganz typisches Phänomen, das wir auch in allen erdgeschichtlichen Krisensituationen, die oft von einem Klimawandel ausgelöst wurden, beobachten können. Hier ist es schon durchaus berechtigt, den jetzigen Klimawandel, der ja erst am Anfang steht, als den Beginn eines weiteren Massensterbens der Erdgeschichte zu sehen – auch wenn wir das Ausmaß noch nicht erreicht haben und es noch in der Hand haben, ob wir dieses Ausmaß wirklich erreichen werden.

Man muss sehen, dass die gesamte Biosphäre durch den Klimawandel umgewälzt wird. Das betrifft die Ozeane, aber natürlich auch die Ökosysteme an Land. Organismen wandern aus ihren angestammten Lebensräumen ab, weil die Temperaturen dort nicht mehr tolerierbar sind. Sie folgen ihren bevorzugten Temperaturbereichen – und die verlagern sich im Schnitt polwärts. Dadurch kommt es zu einer Durchmischung von Ökosystemen. All diese Umwälzungen führen zu einem massiven Druck auf die Fitness einzelner Arten, die dabei letztendlich unter die Räder kommen können.

Insgesamt sind das Umwälzungen, die zum Beispiel auch das Einrichten von Meeresschutz-zonen, was im Augenblick intensiv diskutiert

wird, in einem anderen Licht erscheinen lassen. Diese Schutz-zonen funktionieren ähnlich wie Naturschutzpark und es ist wichtig, diese Schutzgebiete, einzurichten – da möchte ich nicht falsch verstanden werden – aber es kann durchaus passieren, dass geschützte Arten aus diesen Bereichen auswandern, weil sie es dort temperaturmäßig nicht mehr aushalten.

*„Die Umstellung von alten auf neue Technologien, die keine fossile Energie einsetzen, ist essenziell.“*

### Sind das die Probleme, die Sie auch in Ihrer Tätigkeit als Ko-Vorsitzender einer Arbeitsgruppe für den nächsten IPCC-Bericht beschäftigen?

Das ist so. Wir werden im Rahmen des nächsten Weltklimaberichtes auch einen Sonderbericht zu den Ozeanen und zur Kryosphäre<sup>3</sup> erstellen. Wir werden uns dabei auch anschauen, wie sich diese Bereiche bei unterschiedlichen Szenarien verändern werden – in der Annahme, dass der Mensch jetzt wirklich entschlossen beginnt, seinen Einfluss auf das Weltklima zurückzuführen und bestimmte Klimaziele zu erreichen versucht. So wurde das ja 2015 in Paris diskutiert, wo gesagt wurde, wir wollen deutlich unter zwei Grad, möglichst auch unter 1,5 Grad bleiben.

Die Motivation liegt darin, dass wir sehen, was bei noch stärkerem Klimawandel passiert und welche Auswirkungen wir vermeiden können, wenn wir erfolgreich Klimapolitik machen. Diese Fragestellungen werden im nächsten Weltklimabericht eine große Rolle spielen.

## Arbeitsmaterial D1 "Meeresforschung und Klimawandel"

**Sind Sie seit der Weltklimakonferenz in Paris 2015 optimistischer geworden, dass ein Umschwung bei der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emission gelingen kann? Bisher hat man ja den Eindruck, dass trotz lokaler Erfolge eine wirkliche Wende noch nicht gelungen ist.**

Diese Beobachtung würde ich unterstreichen. Auf jeden Fall war Paris ein Paukenschlag, weil sich die Welt auf der Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse darauf geeinigt hat, ein Klimaziel anzusteuern. Und nun wird es darum gehen, die Denkstrukturen in den Gesellschaften und die Investitionsflüsse zu verändern. Man muss sich vorstellen, dass die Menschheit die fossilen Energieträger noch immer drei- bis viermal so stark subventioniert wie die erneuerbaren Energieträger. Wie sollen die erneuerbaren Energieträger sich da durchsetzen?

Die Umstellung von alten auf neue Technologien, die keine fossile Energie einsetzen, ist essenziell. Es gibt eine große Trägheit in der Umsetzung, aber es gibt jetzt nach Paris auch in vielen Regierungen ein intensives Bemühen, wie man hier vorankommen kann. Denken Sie an anstehende Entscheidungen in den Niederlanden und Norwegen, Autos mit Verbrennungsmotoren in den nächsten Jahren komplett von der Neuzulassung auszuschließen. Da kann man sagen, das ist eine Entscheidung in die richtige Richtung – die kann natürlich leichter in Ländern getroffen werden, die keine Autoindustrie haben und in denen die Autoindustrie nicht durch ihre Lobbyarbeit auf alten Rezepten beharrt.

Insofern gibt es Bewegung. Es wird einen intensiven Interessensausgleich zwischen Entwicklungsländern und Industrieländern

geben müssen. Der Infrastrukturaufbau in den Entwicklungsländern muss mit erneuerbaren Energien erfolgen. Es kann ja nicht sein, dass dort noch riesige Kohlekraftwerke gebaut werden – die würden jeden Klimaschutz in den Industrieländern ad absurdum führen.

**Eine Frage zum Schluss, die in eine andere Richtung geht: Im Zuge des Klimawandels wird Natur zunehmend auch als Bedrohung wahrgenommen. Glauben Sie, dass die Menschen in dieser Situation verlernen, die Natur in ihrer Vielfalt und Schönheit wahrzunehmen?**

Man könnte es so sehen: Wir haben ein Risiko, das sich abzeichnet und größer wird. Und wir haben die Möglichkeit, dagegen anzusteuern. Es bringt ja nichts, die Hände in den Schoß zu legen. Man sollte die Risiken als Motivation betrachten, um dagegen etwas zu unternehmen. Die Schönheit der Natur bleibt uns umso mehr erhalten, je mehr wir in der Lage sind, diese Risiken zu reduzieren, und umso mehr wir uns bewusst machen, was wir dort letztendlich riskieren und wie sehr wir die Grundlagen menschlichen Lebens gefährden, wenn wir den Klimawandel ungebremst weiterlaufen lassen.

Wir haben es in der Hand – auch wenn der einzelne vielleicht das Gefühl hat, er sei ohnmächtig. Jeder kann durch Mitarbeit in Organisationen, in Vereinen oder in der Politik dazu beitragen, dass der Wandel, der kommen muss, schneller erfolgt und damit für die Menschheit letztendlich auch eine bessere Welt gebaut wird.

**Vielen Dank für das Gespräch.**

## Arbeitsmaterial D1 "Meeresforschung und Klimawandel"

### Anmerkungen

- <sup>1</sup> *El Niño-Effekt: Beschreibt ein wiederkehrendes Klimaphänomen im Pazifischen Ozean. Die Abschwächung der Passatwinde führt zu einer Veränderung der Meeresströmung zwischen Mittelamerika und Südostasien. Die Temperaturverhältnisse im Ozean verändern sich drastisch und bringen extreme Wetterlagen mit sich. Der Name El Niño (spanisch für „der Junge“, gemeint ist das Christkind) stammt von peruanischen Fischern und hat damit zu tun, dass das natürliche Phänomen zur Weihnachtszeit auftritt.*
- <sup>2</sup> *1,5-Grad-Ziel: Bei der Weltklimakonferenz im Dezember 2015 wurde ein Abkommen unterzeichnet, das die Begrenzung der globalen Erwärmung auf deutlich unter 2 °C, möglichst 1,5 °C im Vergleich zu vorindustriellen Levels vorsieht (vgl. Arbeitsmaterial D 5).*
- <sup>3</sup> *Kryosphäre: Sammelbezeichnung für das Eisvorkommen auf der Erde. Die Kryosphäre umfasst sowohl das Meereis als auch das Inlandeis und Gebirgsgletscher sowie die Permafrostböden.*

### Aufgaben

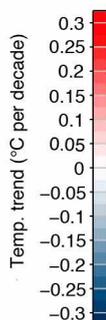
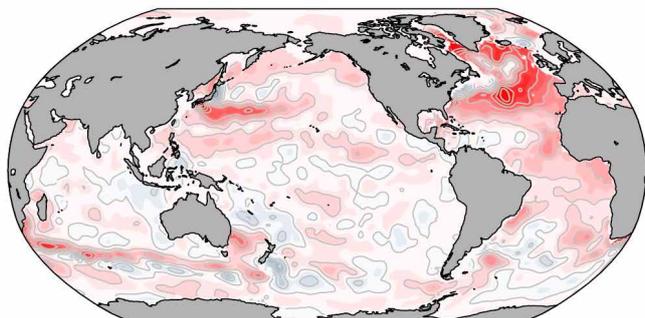
- ▶ Nennen Sie fünf Auswirkungen des Klimawandels auf die Ozeane.
- ▶ Erklären Sie, inwiefern die Ozeane den Klimawandel „abpuffern“.
- ▶ Erläutern Sie, inwiefern es wichtig ist, nicht nur einzelne Phänomene des Klimawandels zu betrachten, sondern das gesamte Ozeansystem in den Blick zu nehmen.
- ▶ Diskutieren Sie, welche Schlussfolgerungen aus den naturwissenschaftlichen Erkenntnissen im politischen Bereich gezogen werden sollten.

## Arbeitsmaterial D2 "Meeresforschung und Klimawandel"

### Stichworte zu Ozean und Klimawandel

#### Temperaturanstieg

Parallel zum Anstieg der Temperaturen in der Atmosphäre steigt auch die durchschnittliche Temperatur in den Ozeanen. Die Veränderungen sind ungleich über die Weltmeere verteilt – ein wesentlicher Grund dafür sind Schwankungen in den jeweiligen Meeresströmungen, die zum Beispiel dazu führen können, das für einen gewissen Zeitraum mehr kaltes Wasser aus der Tiefe an die Meeresoberfläche gelangt. Die Grafik aus dem fünften Weltklimabericht zeigt die Temperaturdifferenz über den Zeitraum von 1971 bis 2010 in den oberen Schichten der Ozeane (0 bis 700 Meter).



In den zurückliegenden 50 Jahren haben die Weltmeere zwischen ein und sieben Prozent ihres Sauerstoffgehaltes eingebüßt. Ein wesentlicher Grund dafür ist die Erwärmung der Meere. Warmes Wasser kann nicht so viel Sauerstoff aufnehmen wie kaltes – und die Erwärmung ist ausgerechnet im für die Sauerstoffproduktion

wichtigen Oberflächenwasser am stärksten. Ein zusätzliches Problem besteht darin, dass sich der Austausch zwischen den Wasserschichten abschwächt, wenn sich das Oberflächenwasser immer stärker erwärmt. Es kann dann nicht mehr so leicht in die Tiefe sinken und den gelösten Sauerstoff mit nach unten transportieren. Die Folge ist, dass sich die ohnehin sauerstoffarmen Meereszonen vergrößern.

In Küstennähe kommt ein weiteres Phänomen dazu: Der Eintrag von Düngemitteln und Abwässern in die Meere führt zu einem großflächigen Algenwachstum. Deren Überreste werden von sauerstoffzehrenden Bakterien abgebaut; in der

#### Versauerung

Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) gilt als Hauptverursacher des Klimawandels und wird vor allem durch das Verbrennen fossiler Energieträger (Kohle, Erdöl, Erdgas) in die Atmosphäre abgegeben. Der größte Teil des vom Menschen erzeugten  $\text{CO}_2$  gelangt in die Weltmeere. Dort geht das Gas chemische Verbindungen ein, unter anderem bildet sich Kohlensäure ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Dies führt zu einer Versauerung des Wassers – der pH-Wert der Ozeane sinkt kontinuierlich ab. Seit Beginn der Industrialisierung ist der pH-Wert der Ozeane von ca. 8,2 auf 8,1 gesunken. Bis zum Jahr 2100 wird je nach Entwicklung der  $\text{CO}_2$ -Mengen mit einer weiteren Reduktion des pH-Wertes um 0,3 bis 0,5 gerechnet. Das klingt zwar wenig, bedeutet

aber eine Versauerung um ein Vielfaches. Bei einem pH-Wert von unter 7,5 beginnen sich die Kalkschalen von Schnecken und Korallen aufzulösen.

#### Sauerstoffmangel

Sauerstoff ist für Meerestiere genauso lebensnotwendig wie für Menschen und Tiere an Land. In den Ozeanen produzieren Algen und Bakterien Sauerstoff durch Photosynthese – allerdings nur in den oberen Schichten, wo das dafür notwendige Licht vorhanden ist. Durch den Austausch von Wasser gelangt Sauerstoff auch in tiefere Meeresschichten.

## Arbeitsmaterial D2 "Meeresforschung und Klimawandel"

Folge sinkt der Sauerstoffgehalt des Wassers. Forscher kennen heute mehr als 400 Küstengebiete, in denen einzelne Wasserschichten so wenig Sauerstoff enthalten, dass sie als „tote Zonen“ bezeichnet werden. Hier leben nahezu keine Tiere mehr.

### Globale Meeresströmungen

Die Weltmeere sind ständig in Bewegung. Für das Klima in Westeuropa ist der Golfstrom, der warmes Wasser vom Golf von Mexiko nach Nordosten transportiert, von entscheidender Bedeutung. Viele andere Strömungen sorgen für einen Austausch von Wasser in vertikaler und horizontaler Richtung. Einer der wichtigsten Antriebskräfte der Meeresströmungen liegt im Nordatlantik, wo salzhaltiges und kaltes (und damit schwereres) Wasser absinkt und damit eine Sogwirkung an der Oberfläche verursacht. Dieser Motor der so genannten thermohalinen Strömung könnte ins Stocken geraten, wenn durch das Abschmelzen der großen Eisflächen immer mehr Süßwasser in den Nordatlantik fließt. Dadurch würde sich der Salzgehalt im Nordatlantik reduzieren und das Wasser hätte nicht mehr die erforderliche Schwere, um in die Tiefe zu sinken.

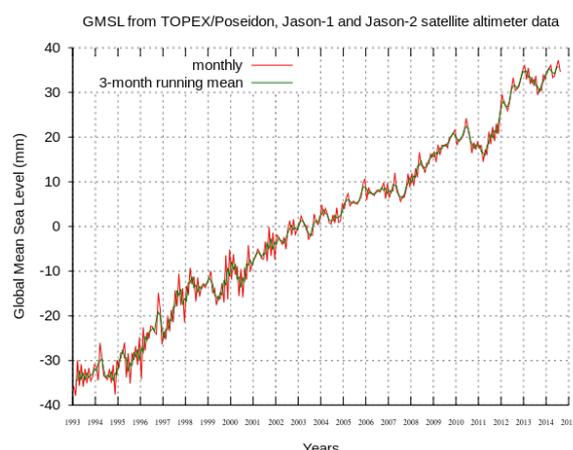
Welche Folgen ein plötzliches Stocken der Meeresströmungen hätte, ist ungewiss. Erwartet wird, dass es zu einer allmählichen Abschwächung des Golfstroms kommt, wodurch die bevorstehende Erwärmung in Westeuropa gebremst wird.

### Meeresspiegelanstieg

Der Anstieg des Meeresspiegels ist die am meisten diskutierte Folge des Klimawandels. Die Grafik zeigt Messungen aus dem Zeitraum von 1993 bis 2015. Der jährliche Anstieg betrug durchschnittlich 3,2 mm. Die Daten beruhen auf Satellitenmessungen. Demgegenüber wird für das 20. Jahrhundert ein mittlerer globaler

Meeresspiegelanstieg um etwa 1,7 mm/Jahr geschätzt – also etwa die Hälfte.

Der Anstieg des Meeresspiegels hat zwei Ursachen: Zum einen führt die Erwärmung der Ozeane zu einer Ausdehnung des Wassers, zum anderen fließt durch das allmähliche Schmelzen der großen Festland-Eisflächen (v.a. in Grönland und der Antarktis) nach und nach mehr Wasser in die Ozeane. Im fünften Weltklimabericht wird bis zum Jahr 2100 ein Anstieg des Meeresspiegels zwischen 0,3 und 0,8 Metern erwartet. Neuere Messungen in der Antarktis deuten jedoch darauf hin, dass es zu zusätzlichen Anstiegen durch ein beschleunigtes Abschmelzen der dortigen Eismassen kommen könnte.



### Aufgaben

- ▶ Stellen Sie fest, in welchen Bereichen der Ozeane der größte Temperaturanstieg zu beobachten ist. Wie groß ist die maximale Differenz zwischen 1971 und 2010?
- ▶ Nennen Sie die wichtigsten Ursachen für den sinkenden Sauerstoffgehalt in den Meeren.
- ▶ Erläutern Sie, was mit einer thermohalinen Strömung gemeint ist.
- ▶ Nennen Sie die physikalischen Ursachen für den Anstieg des Meeresspiegels.

## Arbeitsmaterial D3 "Meeresforschung und Klimawandel"

### Meere im Klimawandel: Die Nordsee als Einwanderungsgebiet

Wissenschaftler/innen des Alfred-Wegener-Institutes zählten 2012 im deutschen Wattenmeer insgesamt 52 eingeschleppte Arten – und jedes Jahr kommt ein neuer Exot hinzu. Die meisten dieser so genannten Neozoen („Neu-Tiere“) und Neophyten („Neu-Pflanzen“) werden unabsichtlich eingeschleppt. Viele von ihnen gelangen an der Außenhaut von Schiffen zu uns.



*Aus einem Experiment wurde eine Invasion: Die Pazifische Auster hat sich im norddeutschen Wattenmeer ausgebreitet. Miesmuschelbänke werden von den wesentlich größeren Austern dicht besiedelt.*

Etwas anders ist es mit der Pazifischen Auster *Crassostrea gigas*. In den 1950er Jahren hatten Fischer die heimischen Austern nahezu ausgerottet. Zunächst gab es in den Niederlanden, später auch im norddeutschen Wattenmeer Versuche, die Pazifische Auster anzusiedeln. 1986 führten Sylter Austernfarmer einen solchen Versuch durch und rechneten nicht damit, dass sich die Tiere verbreiten würden, denn um sich fortzupflanzen, benötigen die Pazifischen Austern Wassertemperaturen von mehr als 18 Grad Celsius. Nach damaliger Auffassung war das im nördlichen Wattenmeer nicht ausreichend häufig der Fall.



*Anders als der Name vermuten lässt, können die Austernfischer mit der Pazifischen Auster nichts anfangen – ihre Schale ist zu hart. Parallel zur Ausbreitung der Pazifischen Auster nahm die Zahl der Austernfischer im Wattenmeer ab.*

Doch es kam anders: Larven der Pazifischen Auster entkamen aus den Austernfarmen und breiteten sich in den folgenden Jahren im Wattenmeer aus. Wie kam es zu diesem überraschenden Ereignis? Zwischen 1987 und 2003 gab es ungewöhnlich viele warme Jahre, was die Verbreitung der Austern begünstigte. Die Temperaturentwicklung fügte sich ein in einen langfristigen Trend: Die Nordsee wird wärmer. So haben Forscher/innen des Alfred-Wegener-Institutes in einer Langzeitmessung über einen Zeitraum von fünfzig Jahren rund um Helgoland einen Temperaturanstieg von etwa 1,7 Grad ermittelt.

## Arbeitsmaterial D3 "Meeresforschung und Klimawandel"

Die Pazifischen Austern siedelten sich vor allem auf Miesmuschelbänken an. Innerhalb kurzer Zeit verwandelten sich die Muschelbänke dadurch in Austernriffe – ein Problem für eine ganze Reihe von Seevögeln. Weder Eiderenten noch Knutts oder Austernfischer sind in der Lage, mit ihren Schnäbeln die dicken Schalen der eingeschleppten Pazifischen Auster zu spalten. Zwar wurden die Miesmuscheln nicht komplett verdrängt, aber sie erreichen nur noch eine geringere Größe, und die Bestände einzelner Seevogelarten, die sich von den Muscheln ernähren, sind zurückgegangen.

Die Pazifische Auster hat im Wattenmeer keine natürlichen Fressfeinde und kann sich ungehemmt ausbreiten: auf hektargroßen Flächen,

mit bis zu 2.000 Tieren auf einem Quadratmeter. Die eingewanderte Art wird also nicht unbedingt in eine bestehende Nahrungskette integriert – sie kann diese sogar gefährden, wenn sie eine andere Art verdrängt, die ein wichtiges Element dieser Nahrungskette ist. Andererseits schafft die Pazifische Auster auch neuen Lebensraum, zum Beispiel für weitere Wattenmeer-Einwanderer. Der Japanische Beerentang *Sargassum muticum* heftet sich an die Austernschalen und wächst bis zu vier Meter in die Höhe. In diesen Algenwäldern hat mit dem Asiatischen Gespensterkrebs ein weiterer Nordseeneuling ein Zuhause gefunden.

*Zusammenstellung aus Materialien des Alfred-Wegener-Institutes*

### Aufgaben

- ▶ Stellen Sie am Beispiel der Pazifischen Auster dar, wie neu eingewanderte Arten sich auf bestehende Ökosysteme auswirken können.
- ▶ Nennen Sie Gründe für die hohe Zahl neuer Arten in der Nordsee.
- ▶ Informieren Sie sich über andere Neozoen und Neophyten, die als problematisch gelten (z.B. auf der Seite [www.neobiota.de](http://www.neobiota.de)).

## Arbeitsmaterial D4 "Meeresforschung und Klimawandel"

"Die Puzzle-Teile sind da – sie müssen aber noch zu einem Bild zusammengefügt werden."

Interview mit Marie-Luise Beck, Geschäftsführerin des Deutschen Klima-Konsortiums



Wissenschaft trifft Politik – seit über zwanzig Jahren ist der Klimawandel ein Thema internationaler Konferenzen. Wie funktioniert die Kommunikation zwischen Wissenschaft und Politik? Wird Wissenschaft unglaubwürdig, wenn sie zu politischen Fragen Stellung bezieht? Welche Perspektiven für eine karbonfreie Welt kann die Forschung heute aufzeigen? Fragen an Marie-Luise Beck, Geschäftsführerin des Deutschen Klima-Konsortiums

### Das Deutsche Klima-Konsortium (DKK)

2009 haben sich führende Einrichtungen der Klimaforschung in Deutschland geschlossen, um mit einer gemeinsamen Stimme in der Öffentlichkeit und gegenüber der Politik aufzutreten.

Das DKK veröffentlicht Stellungnahmen zu Themen der Klima- und Klimafolgenforschung wie auch der Klimaökonomie und der Klimapolitik. Es begleitet politische Ereignisse wie die internationalen Klimaverhandlungen und beteiligt sich an Bildungsprojekten wie dem MOOC (Massive Open Online Course), einem Online-Kurs zu Grundlagen des Klimawandels ([www.iversity.org](http://www.iversity.org)). Vorstandsvorsitzender des DKK ist der Meteorologe Prof. Dr. Mojib Latif, der am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel forscht.

Die Geschäftsstelle des DKK leitet seit 2012 Marie-Luise Beck. Sie war zuvor in verschiedenen Funktionen an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Politik tätig, u.a. als Referentin und Büroleiterin für Bundestagsabgeordnete.

### Die Klimaforschung steht seit Jahren im Zentrum politischer Auseinandersetzungen. Wie würden Sie das Verhältnis von Wissenschaft und Öffentlichkeit beschreiben?

Auf der einen Seite ist die Klimaforschung natürlich getrieben von dem naturwissenschaftlichen Interesse, das Klimasystem besser zu verstehen.

Wenn andererseits danach gefragt wird, wie wir das Klima schützen können und wie wir mit den Folgen des Klimawandels leben können, dann reagieren wir auch auf gesellschaftliche Bedürfnisse und können unsere Expertise in diesen Bereichen zur Verfügung stellen.

## Arbeitsmaterial D4 "Meeresforschung und Klimawandel"

Wir leben in einer immer komplexer werdenden Welt. Wenn wir Lösungen brauchen, können wir in vielen Fällen nicht mehr nur etwas ausprobieren oder abwarten, bis sich etwas entwickelt, sondern wir brauchen Wissenschaft, die das Problem beschreibt und Lösungsoptionen, die auf wissenschaftlicher Basis entwickelt werden. Da ist der menschengemachte Klimawandel ein wichtiger Bereich, aber es gibt noch viele andere.

### Ändert dieses Wechselspiel zwischen Gesellschaft und Wissenschaft auch die Haltung und das eigene Selbstverständnis von Wissenschaftlern/innen?

Ich glaube, ja. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind ja immer zugleich auch Bürgerinnen und Bürger oder besorgte Eltern. Wenn man herausfindet, dass der Klimawandel Dimensionen annimmt, die künftige Lebensbedingungen stark einschränken, dann ist das für eine Physikerin oder einen Physiker erst mal ein Faktum. Aber es wäre ja naiv anzunehmen, dass so etwas nicht auch die eigene Haltung beeinflusst. Die persönliche Betroffenheit muss zwar in bestimmten Situationen herausgehalten werden, aber sie ist natürlich da.

Der zweite Punkt ist der, dass Ergebnisse aus der Klimaforschung kaum neutral sein können, sondern direkt Auswirkungen auf die Gesellschaft haben und daher besonders kritisch bewertet werden. Die Entdeckung von Gravitationswellen im Weltall zum Beispiel, haben keine unmittelbare Auswirkungen aber wenn im IPCC-Bericht steht, dass der CO<sub>2</sub>-Ausstoß deutlich reduziert werden muss, um die Erderwärmung auf unter zwei Grad zu begrenzen – dann ist das ein Problem für diejenigen, die an der Nutzung fossiler Energien gut verdienen und es ist eine harte Ansage an uns alle: unsere Art zu leben, zu wirtschaften und zu konsumieren, steht infrage. Es kann sein, dass Wissenschaftler unter dem Eindruck öffentlicher Angriffe gele-

entlich zur Selbstzensur neigen. Mir haben schon Wissenschaftler berichtet, dass ihnen Unterstellungen manchmal tagelang nachgehen. Ob manche Wissenschaftler dadurch defensiver werden, lässt sich ganz schlecht sagen. Für solche Prozesse gibt es keinen Lackmusest, der mir durch eine Farbe signalisieren würde: Aha, hier wurde Selbstzensur betrieben. Das sind ganz feine Veränderungen, die den Wissenschaftlern vielleicht selbst nicht im vollen Umfang klar sind.

### Viele Jahre drehte sich eine zentrale Auseinandersetzung um die Frage, ob es überhaupt einen von Menschen verursachten Klimawandel gibt. Steht die Auseinandersetzung mit „Klimaskeptikern“ noch im Zentrum oder verlaufen die Konfliktlinien inzwischen woanders?

Das Klimaabkommen von Paris 2015 zeigt, dass inzwischen der menschengemachte Klimawandel als Tatsache anerkannt wird. 195 Staaten und die EU haben einen Vertrag unterzeichnet, der Maßnahmen gegen die Klimaveränderung beinhaltet – und das macht nur Sinn, wenn man auch akzeptiert hat, dass es einen solchen Klimawandel gibt. Klimaskeptiker sind eine Minderheit, die allerdings oft gut organisiert ist, Geld und Einfluss hat und sehr viel Krach schlagen kann.

Beobachter haben mit Blick auf die Klimakonferenz von Paris gesagt, dass es der Wissenschaft hier gelungen ist, die gläserne Decke der Politikberatung zu durchstoßen. Es war die beharrliche Arbeit der internationalen Klimaforschung, in ihren IPCC-Sachstandsberichten immer wieder herauszustellen, wo der Konsens in der Klimaforschung liegt, an welchen Stellen das Wissen hinreichend sicher ist - absolute Sicherheit kann es in der Wissenschaft nie geben – und wo noch Unsicherheiten sind. Der IPCC war der Kompass in den jahrelangen Verhandlungen.

## Arbeitsmaterial D4 "Meeresforschung und Klimawandel"

Neben der Anerkennung des Klimawandels ist der zentrale Punkt des Vertrages: Was muss jetzt gemacht werden und wer macht was? Das ist noch nicht geklärt. Aber im Gegensatz zu früheren Klimakonferenzen gibt es jetzt die weltweite Einsicht: Ja, es muss schnell gehandelt werden – und alle müssen dazu beitragen.



*Die Politik feierte das Klimaabkommen von Paris 2015 als großen Erfolg – aber wird es auch zu einer konsequenten Umsetzung führen?*

**Von außen betrachtet hat man den Eindruck, dass das Klimaabkommen von Paris sehr ehrgeizige Ziele benennt, dass aber die konkreten Schritte dahin noch weniger deutlich zu erkennen sind, als das bei früheren Konferenzen der Fall war.**

Es ist eine Frage der Betrachtungsweise, ob ich sage, das Glas ist halb voll oder es ist halb leer. Für die Sichtweise, dass es halb leer ist, spricht, dass die Situation seit über zwanzig Jahren klar beschrieben ist und in diesem Zeitraum – also seit Beginn der 1990er Jahre – die CO<sub>2</sub>-Emissionen weltweit um 60 Prozent gestiegen sind. Das ist die Zahl, die einen skeptisch stimmen muss.

Für die andere Sichtweise – dass das Glas halb voll ist – gibt es aber auch Gründe: Seit der Auflösung der beiden großen politischen Machtblöcke ist es zum ersten Mal gelungen, in Paris einen völkerrechtlich verbindlichen Vertrag

abzuschließen, an dem sich wirklich alle Staaten aktiv beteiligen. Das ist in der multipolaren Welt, in der wir heute leben, ein Riesenerfolg. Wir haben ja keine Weltpolizei, die irgendeinem Land etwas befehlen kann – Verbindlichkeit lässt sich nur über Anreizsysteme oder Vernunft und Einsicht erzielen. Das ist in Paris gelungen.

Der Preis dafür ist ein Vertrag, der in manchen Punkten vage geblieben ist. Das wissen auch die Klimapolitiker und es ist jetzt die große Herausforderung, diese vagen Punkte nach und nach immer enger zu ziehen und konkreter zu machen. Das ist der Plan. Es wird ein schwieriger Prozess, in dem es vermutlich auch Rückschläge geben wird, aber aus meiner Sicht kann man mit Blick auf den Pariser Klimavertrag davon sprechen, dass das Glas halb voll ist.

**Wie groß ist der Einfluss des IPCC auf die Politik?**

Ich denke, dieser Einfluss ist sehr groß. Der IPCC beruht ja auf einer Aufforderung durch die internationale Politik. Man hat die Wissenschaftler aufgefordert, sich zusammzusetzen und international abzuklären, was im Hinblick auf den Klimawandel Konsens ist, wo es noch Streit gibt, was gesichertes Wissen ist und was noch unsicher ist. Das war der Auftrag, der 1988 an die Wissenschaft ging. Daraus hat sich ein sehr ausgefeilter, sehr aufwendiger Arbeitsprozess entwickelt, an dem beim letzten Sachstandsbericht über 800 Wissenschaftler beteiligt waren – übrigens ehrenamtlich.

Die Vorgehensweise des IPCC, das gesamte aktuell vorhandene Wissen zu sichten, zu diskutieren und zu bewerten, hat sich meiner Meinung nach bewährt. Das sieht man auch daran, dass mittlerweile zu anderen Themen-

## Arbeitsmaterial D4 "Meeresforschung und Klimawandel"

bereichen, in denen wissenschaftsbasierte Entscheidungen erforderlich sind, ähnliche Strukturen entwickelt werden, die den IPCC sozusagen als Blaupause verwenden. Zum Beispiel IPBES – Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services – wo man sich in ähnlicher Weise mit dem globalen Problem der sinkenden Biodiversität, also dem massiven Aussterben von Pflanzen- und Tierarten, auseinandersetzt. Die IPCC-Berichte enthalten das, was internationaler Konsens von aktiv forschenden Wissenschaftlern ist. Es gibt immer wieder Stimmen, die diesen Konsens in Frage stellen, aber wenn man dann nachbohrt, stellt sich in der Regel heraus, dass es sich da um Menschen handelt, die nicht aktiv im Klimabereich forschen und veröffentlichen.

**Noch mal konkret nachgefragt: Deutschland galt in der internationalen Klimapolitik lange Zeit als Vorreiter, inzwischen sind da aber Zweifel aufgekommen. Zum Beispiel halten es viele Beobachter für nahezu unmöglich, die für 2020 gesetzten Klimaziele zu erreichen. Würden Sie zu dieser Frage eine Einschätzung abgeben?**

Unter der Voraussetzung, dass alles so bleibt, wie es ist, muss ich diese Einschätzung leider bestätigen. Die Emissionen stagnieren derzeit in Deutschland. Sie müssten aber sinken und zwar schnell, wenn das selbst gesteckte Ziel von 40 Prozent Reduktion der Treibhausgase bis 2020 gegenüber 1990 noch eingehalten werden soll.

**Der Laie stellt sich unter Klimaforscherinnen und Klimaforschern vor allem naturwissenschaftlich tätige Menschen vor. Wenn man sieht, dass beispielsweise im Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung eine ganze Reihe von Ökonomen und Sozialwissenschaftlern/innen arbeiten, dann bekommt man den Eindruck, dass Klimaforschung sehr interdisziplinär geworden ist.**

Das kann ich nur bestätigen. Es spiegelt sich ja auch in den drei Arbeitsgruppen des IPCC wieder – und auch in unserem Positionspapier, in dem wir wichtige Themen der zukünftigen Klimaforschung benannt haben. Nach wie vor spielt die naturwissenschaftliche Klimaforschung eine große Rolle. Sie hat in den letzten Jahrzehnten immer präzisere Aussagen über das Klimasystem treffen können, es gibt aber auch viele ungelöste Fragen, beispielsweise im Bereich der Wolkenforschung oder der Meeresströmungen.



*Ist eine Radtour am Meer cool oder langweilig? Welche Formen von Freizeitgestaltung als attraktiv empfunden werden – auch das wirkt sich auf die Emission von Treibhausgasen aus.*

Es gibt aber auch einen zweiten großen Fragenkomplex, der mit den Lösungen zusammenhängt: Wie können wir den Klimawandel mindern? Und wie können wir uns an den nicht mehr vermeidbaren Klimawandel anpassen? Das ist ein sehr spannendes und dynamisches Forschungsfeld, in dem sich gerade junge Forscherinnen und Forscher sehr engagieren. Hier sind Wirtschaftswissenschaftler, Sozialwissenschaftler, Psychologen und andere gefordert, um herauszufinden, wie sich Gesellschaften verändern und gleichzeitig eine gut funktionierende Wirtschaft behalten können.

## Arbeitsmaterial D4 "Meeresforschung und Klimawandel"

Da geht es etwa um wirtschaftliche Förderung von klimafreundlichen Techniken, aber auch um einen Preis auf CO<sub>2</sub>. Wir alle zahlen Müllgebühren, und wenn ein Unternehmen einen Fluss verschmutzt, muss es Strafe zahlen – aber wir nutzen die Atmosphäre kostenlos als Deponie für Treibhausgase wie CO<sub>2</sub>. Der Emissionshandel oder Steuern auf CO<sub>2</sub> sind da die Ideen. Oder es geht um so genannte „Pioniere des Wandels“, die neue Trends setzen und damit den Lebensstil der Mehrheitsgesellschaft beeinflussen – zum Beispiel, dass es nicht mehr als hipp gilt, alle paar Monate eine Flugreise zu machen, sondern auch mal eine Radtour an der mecklenburgischen Seenplatte. Solche Transformationsprozesse besser zu verstehen und Optionen für neue Wege aufzuzeigen, ist Aufgabe der Wissenschaft. Politik braucht diese Unterstützung, sie muss allerdings am Ende selbst entscheiden, welcher Weg konkret beschritten wird.

**Der Blick in die Zukunft bringt ja zweifellos große und interessante Herausforderungen mit sich. Um die Klimaveränderung zu begrenzen, müssen wir ja etwa in der Mitte des Jahrhunderts zu einer nahezu karbonfreien Gesellschaft werden. Gibt es eigentlich verlässliche Modelle, wie das technologisch, ökonomisch und in sozialer Hinsicht aussehen könnte?**

Im dritten Teil des Sachstandsberichtes des IPCC gibt es einige Überlegungen dazu. Einer der Vorsitzenden der Arbeitsgruppe Klimaschutz war Ottmar Edenhofer, stellvertretender Direktor am Potsdam-Institut für Klimafolgen-

forschung und einer der weltweit führenden Klimaökonomien. Da gibt es beispielsweise die Berechnung, dass bei einem normalen Wirtschaftswachstum (von 1,6 bis 3 Prozent im Jahr) der Klimaschutz nur mit einem Minus von rund 0,06 Prozentpunkten zu Buche schlagen würde. Das ist so, als würde man die Steuern leicht erhöhen. Also, die Wirtschaft merkt es, aber sie ist weit davon entfernt zusammenzubrechen, wie manche befürchten. Die zentrale Botschaft lautet: Mit Klimaschutz muss man nicht auf Wirtschaftswachstum und Wohlstand verzichten.

Modelle sind natürlich immer vereinfachte Abbilder der Wirklichkeit. Dass die Realität komplizierter ist, wissen alle. Ich will es mal so ausdrücken: Die Puzzle-Teile sind schon da: die klimafreundlichen Techniken, die Ideen für neue Regeln in der Wirtschaft, das Bewusstsein, dass wir Emissionen einsparen und nachhaltiger leben müssen. Aber sie müssen noch zu einem Bild zusammengefügt werden. Dazu ist es auch wichtig, schärfer zu erkennen, wo die unterschiedlichen Interessen liegen – was wiederum eine Aufgabe der Politik ist. Es gibt mächtige Spieler, die kein Interesse an einem Wandel haben, und es gibt sehr viele Menschen auf der Welt – in den Entwicklungs- und Schwellenländern, aber auch bei uns – die ein großes Interesse haben, dass der Klimawandel gebremst wird, weil er zum Teil schon heute und mehr noch in Zukunft ihr Leben und ihren Wohlstand beeinträchtigt.

**Vielen Dank für das Gespräch.**

## Arbeitsmaterial D4 "Meeresforschung und Klimawandel"

### Hintergrund: Aufgaben und Arbeitsweise des Weltklimarates

Der Weltklimarat IPCC wurde 1988 auf Initiative der UNO einberufen und hat die Aufgabe, den aktuellen Forschungsstand zum Klimawandel zusammenzutragen und dadurch den politischen Entscheidungsträgern eine Orientierung für ihre Beschlüsse zu geben. Seitdem hat der Weltklimarat fünf sogenannte Sachstandsberichte und einige Sonderberichte veröffentlicht.

Der IPCC ist ein wissenschaftliches Gremium und gleichzeitig ein zwischenstaatlicher Ausschuss. Der Sitz des Rates ist Genf. Ihm gehören neben Wissenschaftlern/innen aus der ganzen Welt auch Regierungsvertreter aller beteiligten Länder an (zurzeit 195). Außerdem gehören Beobachter/innen aus mehr als 100 internationalen Organisationen sowie aus der Zivilgesellschaft zum IPCC.

Eigene Forschungsarbeit leistet der IPCC nicht, sondern er sammelt das aktuelle naturwissenschaftliche, technische und sozioökonomische Wissen und bewertet es aus wissenschaftlicher Sicht. Er stellt die naturwissenschaftlichen Grundlagen, die Auswirkungen sowie Risiken des Klimawandels dar. Außerdem zeigt er Möglichkeiten auf, wie die Menschheit den Klimawandel mindern und sich an eine globale Erwärmung der Erde anpassen kann. Regierungsvertreterinnen und Regierungsvertreter der Mitgliedsstaaten können die Entwürfe der IPCC-Berichte vor deren Veröffentlichung kommentieren und verhandeln die Formulierung der Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger.

2007 erhielt der IPCC gemeinsam mit dem ehemaligen US-Vizepräsidenten Al Gore den Friedensnobelpreis für seine Bemühungen, den Klimawandel ins Bewusstsein der Weltöffentlichkeit zu rücken. Nach der Fertigstellung des Fünften Sachstandsberichts in den Jahren 2013 und 2014 bereitet der IPCC nach der Wahl des

neuen Vorstands im Oktober 2015 die Arbeit am Sechsten Sachstandsbericht vor, der dann spätestens im Jahr 2022 erscheinen soll.

*Quellen: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit ([www.bmub.bund.de](http://www.bmub.bund.de)), Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle ([www.de-ipcc.de](http://www.de-ipcc.de))*

### Aufgaben

- ▶ Erläutern Sie, warum Wissenschaft als Grundlage für politische Entscheidungen in den letzten Jahrzehnten an Bedeutung gewonnen hat.
- ▶ Lesen Sie sich die Informationen über die Arbeitsweise des IPCC durch. Diskutieren Sie, ob auf diese Weise die bestmögliche Grundlage für politische Entscheidungen entsteht.
- ▶ „Wissenschaftler sollen Handlungsmöglichkeiten aufzeigen, aber der Politik überlassen, die richtigen Entscheidungen zu treffen.“ Diskutieren Sie diese Aussage. Würde ein/e Wissenschaftler/in (und Angehöriger des Weltklimarates) fordern, dass die Produktion von Autos mit Verbrennungsmotor innerhalb von drei Jahren verboten werden soll, in Ihren Augen die wissenschaftliche Neutralität verletzen?
- ▶ Informieren Sie sich über die Ergebnisse des Pariser Klimaabkommens von 2015 (vgl. Arbeitsmaterial D 5). Diskutieren Sie, ob Sie die Einschätzung von Marie-Luise Beck zu diesem Abkommen teilen.
- ▶ Stellen Sie in einem Schaubild da, welche gesellschaftlichen Bereiche durch Klimapolitik betroffen sind.
- ▶ Erklären Sie, warum auch Psychologen/innen und Soziologen/innen in der Klimaforschung tätig sind.

## Arbeitsmaterial D5 "Meeresforschung und Klimawandel"

### Meilensteine der internationalen Klimapolitik

#### 1992 Rio de Janeiro: Klimarahmenkonvention verabschiedet (UN Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)

Die Klimarahmenkonvention ist ein Grundlagenabkommen, das 1992 verabschiedet und zunächst von 154 Staaten unterschrieben wurde. Inzwischen sind 196 Staaten und die Europäische Union dem Abkommen beigetreten. Es bildet die Grundlage für eine international abgestimmte Klimapolitik, die vor allem zwei Ziele verfolgt: Durch eine Reduktion von Treibhausgasen die globale Erwärmung zu verlangsamen und ihre Folgen abzumildern.

#### 1997 Kyoto: Das Kyoto-Protokoll wird verabschiedet

Das Protokoll von Kyoto beinhaltet die konkrete Ausgestaltung der Klimarahmenkonvention. Erstmals werden völkerrechtlich verbindliche Ziele für den Ausstoß von Treibhausgasen in den Industrieländern festgelegt. Allerdings haben die USA, als einer der größten Emittenten, das Protokoll nie unterzeichnet, Kanada ist 2013 ausgetreten.

Mit dem Kyoto-Protokoll werden auch Mechanismen zur Erreichung der Reduktionsziele beschlossen, zum Beispiel der Emissionsrechtehandel in der EU. (Beim Emissionsrechtehandel ist eine Obergrenze des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes durch eine bestimmte Anzahl Emissionsberechtigungen festgelegt – eine Emissionsberechtigung entspricht einer Tonne CO<sub>2</sub>. Wird die Menge der Emissionsberechtigungen unterschritten, können diese am Markt gehandelt werden.) Industrieländer können ihre Emissionen (rechnerisch) auch dadurch reduzieren, dass sie in Entwicklungsländern Maßnahmen finanzieren,

die die jeweilige CO<sub>2</sub>-Bilanz verbessern (Clean Development Mechanism, CDM).

Mindestens 55 Staaten, die für mindestens 55 Prozent der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich sind, mussten das Protokoll anerkennen, damit es in Kraft treten konnte. Das war 2005 der Fall.

#### 2007 Bali: Beschluss des Bali Action Plan

Der Bali Action Plan, das zentrale Ergebnis der UN-Klimakonferenz auf Bali, sollte den Fahrplan festlegen, der zu einer Nachfolgeregelung für das Ende 2012 auslaufende Kyoto-Protokoll führen sollte. Neben der Festlegung von Reduktionszielen sollten dabei z.B. auch Anreize entwickelt werden, um die Rodung von Wäldern zu verringern und nachhaltige Forstpraktiken zu fördern. Zunehmend rückten auch Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel auf die Tagesordnung. Die Umsetzung des Planes verzögerte sich in den folgenden Jahren mehrfach und scheiterte in wesentlichen Teilen.

#### 2008 1. Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls (2008–2012)

Innerhalb der 1. Verpflichtungsperiode sollten die Industrieländer den Ausstoß von Treibhausgasen im Zeitraum von 2008 bis 2012 um mindestens fünf Prozent gegenüber den Emissionen von 1990 senken. Für einzelne Länder und Regionen wurden höhere Ziele festgesetzt: für die EU 8 Prozent, für Deutschland 21 Prozent. Diese Ziele konnten erreicht werden, was im Fall von Deutschland jedoch nur durch den Zusammenbruch der ostdeutschen Industrie nach dem Zusammenbruch der DDR möglich wurde.

## Arbeitsmaterial D5 "Meeresforschung und Klimawandel"

### 2010 Cancún (Mexiko): Einigung auf 2-Grad-Ziel

Die Mitgliedstaaten einigen sich darauf, die Erderwärmung auf maximal 2 Grad Celsius gegenüber vorindustriellen Werten zu begrenzen, da so die schlimmsten Folgen der Klimaerwärmung noch verhindert werden können. Bis 2010 betrug die globale Erwärmung bereits mehr als 0,8 Grad Celsius. Die Industrieländer erkannten an, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2020 um 25 bis 40 Prozent gesenkt werden müssen.

Um die von der Erwärmung besonders betroffenen Regionen zu entlasten, wurde ein Klimafonds für Soforthilfe beschlossen. Zudem wurde beschlossen, einen Fonds einzurichten, aus dem insbesondere Klimaschutzmaßnahmen in Entwicklungsländern finanziert werden sollen (Green Climate Fund, GCF).

### 2012 Doha: 2. Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls (2013–2020)

Nach mehrjährigen Verhandlungsrunden einigten sich die Vertragsstaaten auf der Klimakonferenz in Doha (Katar) auf eine Verlängerung des Kyoto-Protokolls bis 2020. Für diese zweite Verpflichtungsperiode sicherten die Industrieländer zu, ihre Emissionen bis 2020 um insgesamt 18 Prozent gegenüber 1990 zu reduzieren. Die EU hat sich zu einer Verringerung von 20 Prozent verpflichtet.

Neuseeland, Japan und Russland nehmen nicht mehr an der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls teil. Damit belaufen sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Teilnehmerstaaten auf weniger als 15 Prozent der globalen Emissionen – die Wirkungskraft dieser Vereinbarung ist damit sehr fragwürdig geworden. Die Erwartungen richten sich inzwischen auf das Pariser Abkommen (siehe rechte Spalte).

### 2015 Dezember: Pariser Abkommen

Die UN-Klimakonferenz in Paris hatte eine besondere Bedeutung, weil auf der Tagesordnung eine neue internationale Klimaschutzvereinbarung als Nachfolge des Kyoto-Protokolls stand. Das im Dezember 2015 in Paris verabschiedete Klimaabkommen ist einerseits ambitioniert, lässt aber im Detail viele Fragen offen. Die Ergebnisse im Einzelnen:

- ▶ Es wird eine Begrenzung der globalen Erwärmung auf deutlich unter 2 Grad Celsius angestrebt, möglichst 1,5 Grad Celsius (im Vergleich zu vorindustriellen Levels).
- ▶ Um dieses Ziel erreichen zu können, dürfen in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts nicht mehr klimaschädliche Gase ausgestoßen werden, als der Atmosphäre durch sogenannte Senken, also etwa Wälder, entzogen werden.
- ▶ Diese „Treibhausgas-Neutralität“ ist nur möglich durch einen raschen und konsequenten Umbau der Ökonomien und eine „Dekarbonisierung“ der Welt. Zudem muss ein Teil des zuvor emittierten CO<sub>2</sub> wieder aus der Erdatmosphäre entfernt werden.
- ▶ Die starre Zuteilung zwischen Industrie- und Entwicklungsländern wurde aufgehoben, weil sie nicht mehr zu den veränderten weltwirtschaftlichen Verhältnissen passt. Staaten und Themenfelder werden jeweils individuell behandelt.
- ▶ Das bereits früher formulierte Ziel, den weniger finanzstarken Staaten zu helfen, wurde bestätigt. So sollen ab dem Jahr 2020 bis zunächst 2025 100 Milliarden Dollar jährlich für die Anpassung und Abmilderung (Mitigation) von Auswirkungen des Klimawandels bereitgestellt werden.
- ▶ Das Abkommen ist zwar völkerrechtlich bindend, jedoch drohen keine Strafen bei Missachtung der Vertragspunkte.

## Arbeitsmaterial D5 "Meeresforschung und Klimawandel"

Das Abkommen tritt in Kraft, wenn es von 55 Staaten, die zudem mindestens 55 Prozent der Emissionen verursachen, ratifiziert wurde. Ursprünglich wurde damit gerechnet, dass das 2020 der Fall sein würde. Da mittlerweile aber bereits China, die USA und Frankreich noch für 2016 eine Ratifizierung angekündigt haben, könnte das Abkommen schon deutlich früher in Kraft treten.

### Die aktuelle Situation: Anhaltend hoher CO<sub>2</sub>-Ausstoß, hohe Konzentrationen

Weltweit zeigt der Emissionstrend nach wie vor noch nicht nach unten: Wissenschaftler/innen des „Global Carbon Project“ ermittelten für 2014 einen weltweiten Ausstoß von 35,9 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>. Das sind etwa 60 Prozent mehr als 1990, dem Jahr, das im Kyoto-Protokoll als Bezugspunkt festgelegt wurde. Die Forscher/innen halten eine Stagnation für möglich, sehen aber noch keine grundsätzliche Trendumkehr.

### Aufgaben

- ▶ Lesen Sie den Text über die Stationen der internationalen Klimapolitik seit 1992. Nennen Sie zentrale Themen und Streitpunkte.
- ▶ Das Klimaabkommen von Paris 2015 wurde als großer Erfolg bewertet. Vergleichen Sie die Beschlüsse mit früheren Abkommen und stellen Sie dar, was sich verändert hat.

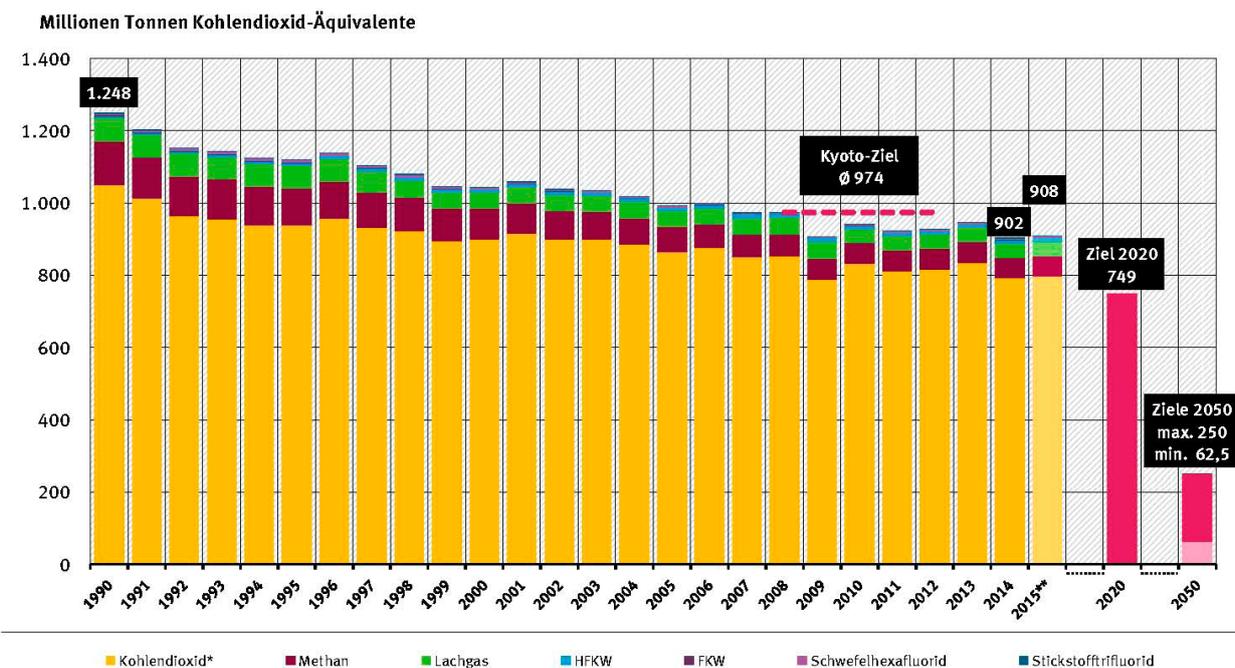
Für die anhaltend hohen Werte sind neben einigen Industrieländern insbesondere sich rasch entwickelnde Schwellenländer verantwortlich, denen es schwer fällt, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß ihrer wachsenden Ökonomien zu kontrollieren. 2014 war allein China für ein Viertel der weltweiten Emissionen verantwortlich.

In Folge der hohen Emissionen steigt auch der CO<sub>2</sub>-Anteil in der Atmosphäre, der in Parts per Million (ppm) gemessen wird. Der Wert überschritt im weltweiten Durchschnitt im März 2015 erstmals die Marke von 400 ppm, wie die US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ermittelte. Zu Beginn der Industrialisierung hatte der Wert bei etwa 280 ppm gelegen. Die hohe Konzentration von CO<sub>2</sub> ist ein globales Experiment mit großem Risiko – sie übersteigt alle Werte, die in den letzten Millionen Jahren erreicht wurden. Selbst wenn der aktuelle Ausstoß radikal gesenkt würde, bliebe die CO<sub>2</sub>-Konzentration für eine sehr lange Zeit hoch.

## Arbeitsmaterial D6 "Meeresforschung und Klimawandel"

### Treibhausgas-Emissionen und Klimaziele in Deutschland

Treibhausgas-Emissionen in Deutschland seit 1990 nach Gasen  
sowie Ziele für 2008-2012 (Kyoto-Protokoll), 2020 und 2050 (Bundesregierung)



Die Grafik gibt einen Überblick über die Treibhausgas-Emissionen in Deutschland und setzt sie ins Verhältnis zu den Zielsetzungen (Quelle: Bundesumweltamt 2015). Die Bundesregierung hat sich im Jahr 2007 zu einer 40-prozentigen Minderung der deutschen Treibhausgas-Emissionen bis 2020 gegenüber 1990 verpflichtet. Im Energiekonzept aus dem Jahr 2010 wird dieses Ziel ergänzt durch ein Minderungsziel von mindestens 55 Prozent bis zum Jahr 2030, mindestens 70 Prozent bis zum Jahr 2040 und 80–95 Prozent bis zum Jahr 2050. Diese Ziele werden auch im Aktionsprogramm Klimaschutz der Bundesregierung vom Dezember 2014 bekräftigt.

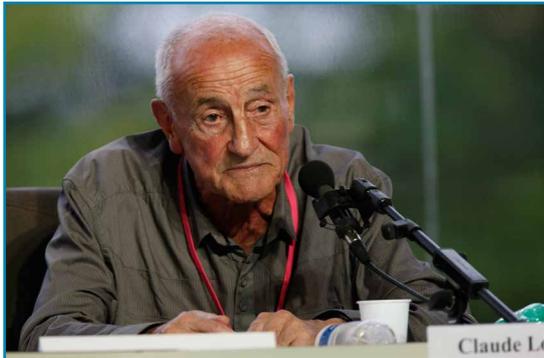
### Aufgaben

- ▶ Beschreiben Sie, welche Informationen das Diagramm zu Treibhausgas-Emissionen in Deutschland enthält.
- ▶ Ordnen Sie die Entwicklung in Deutschland in den internationalen Kontext ein. Recherchieren Sie dazu die Emissionswerte anderer Staaten. Berücksichtigen Sie, dass die Reduktion der Treibhausgas-Emissionen in den ersten Jahren nach 1989 zu einem großen Teil auf der Stilllegung ostdeutscher Industriebetriebe zurückzuführen ist.
- ▶ Bewerten Sie die Klimaziele der Bundesregierung: Sind sie erreichbar, und wie könnten sie erreicht werden?

## Arbeitsmaterial E1 "Zwischen Himmel und Eis"

Vor der Filmbetrachtung

### Wer ist Claude Lorius?



Der Glaziologe (Glaziologie = Eisforschung) Claude Lorius wurde 1932 in Besançon/Frankreich geboren. Seit den 1950er Jahren nahm er an mehr als 22 Polar-Expeditionen teil, meist in die Antarktis. Er übernahm leitende Funktionen in der geophysikalischen Forschung Frankreichs und wirkte beim Aufbau vieler internationaler Forschungsk Kooperationen mit.

Lorius konzentrierte sich schon früh auf die Gewinnung und Untersuchung von Eisbohrkernen. Er trug

wesentlich dazu bei, dass durch die Erforschung von im Eis eingeschlossenen Luftbläschen die Zusammensetzung der Atmosphäre rekonstruiert werden konnte – mittlerweile über einen Zeitraum von einer Million Jahre. Seine Arbeiten zur Geschichte des Erdklimas lieferten wichtige Hinweise auf einen von Menschen verursachten Klimawandel.

Lorius erhielt zahlreiche Auszeichnungen und wurde 1994 als auswärtiges Mitglied in die Russische Akademie der Wissenschaften aufgenommen.

#### Der Film zwischen Himmel und Eis

Der Dokumentarfilm kam 2015 in die Kinos. Er erzählt in der Form einer Forscherbiografie, wie Claude Lorius seit den 1950er Jahren unter schwierigen Umständen begann, in der Antarktis zu forschen. Zugleich wird Lorius' wichtigstes Thema, die Untersuchung von Eisbohrkernen, in einen größeren Zusammenhang eingeordnet: als Beitrag zum Verständnis des von Menschen verursachten Klimawandels. Die Betrachtungen und resümierenden Erzählungen des 82-jährigen Lorius bringen dabei immer wieder ethische Fragen ins Spiel: Welche Rolle spielt der Mensch auf der Erde und welche Verantwortung trägt er im Umgang mit der Natur?

### Aufgaben

- ▶ Lesen Sie die Texte zu Claude Lorius und zum Film ZWISCHEN HIMMEL UND EIS. Formulieren Sie jeweils zwei Fragen:
  - ▶ zum Thema Glaziologie
  - ▶ zur Biografie von Claude Lorius
  - ▶ zu der Gestaltung des Dokumentarfilms
- ▶ Tauschen Sie die Fragen mit Ihrem Sitznachbarn/Ihrer Sitznachbarin und diskutieren Sie, welche drei Fragen die wichtigsten sind.
- ▶ Sammeln Sie Fragen im Plenum und halten Sie sie an der Tafel oder in digitaler Form fest. Nach der Filmbetrachtung können Sie überprüfen, welche Fragen sich beantworten lassen und wo noch weitere Recherchen notwendig sind.

## Arbeitsmaterial E2 "Zwischen Himmel und Eis"

Vor oder nach der  
Filmbetrachtung

### Hintergrundwissen I: Gletscher und Eisschilde

von Maria Hörhold und Johannes Freitag

(Alfred-Wegener-Institut – Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung)



Schnee, der im Sommer nicht schmilzt, sondern liegen bleibt, wandelt sich um zu Firn und dann zu Eis. Die Eismasse nennt man Gletscher. Man findet Gletscher in Regionen, die im Sommer unterhalb des Gefrierpunktes bleiben, zum Beispiel an Berghängen in großen Höhen oder in den Polargebieten. Die beiden Eisschilde in der Antarktis und in Grönland sind sehr große Gletscher. Die Gletscher und Eisschilde speichern ca. zwei Prozent des globalen Süßwassers; der Rest liegt im Grundwasser und in Oberflächenwasser (Seen und Flüsse) vor. Würden die Eisschilde der Antarktis und Grönland komplett schmelzen, würde der Meeresspiegel um mehr als 60 Meter ansteigen.

Je nach Neigung des Untergrundes, Temperatur und Schneeniederschlag (Akkumulation) fließt das Eis zur Seite, schmilzt an seiner Unterseite oder zeigt oberflächennahes Schmelzen in tiefer (wärmer) liegenden Bereichen. Die Summe aus Akkumulation durch Neuschnee und Masseverlust

durch Schmelzen oder Sublimation nennt man Massenbilanz. Sie ist bei gleichbleibenden klimatischen Bedingungen ausgeglichen. Erwärmt sich das Klima, schmilzt mehr Eis im Sommer als im Winter an Neuschnee hinzukommt. Dann ist die Massenbilanz nicht mehr ausgeglichen – der Gletscher oder der Eisschild wird kleiner. So hat zum Beispiel der Vernagtferner Gletscher in den Ötztaler Alpen in den vergangenen 150 Jahren etwa zwei Drittel seiner Eismasse verloren.

Die Massenbilanz bestimmt zusammen mit der Geografie auch die Eisdicke des Gletschers. Eisschilde können ca. vier Kilometer dick werden, dickeres Eis führt zum seitlichen Abfließen aufgrund der großen Auflast.

**Eisschilde:** sehr große Gletscher; es gibt zwei: Antarktis und Grönland

**Massenbilanz:** Summe aus Akkumulation (Schneezutrag) und Verlust (Schmelzen, Sublimation)

**Eisdicke:** Maximum physikalisch begrenzt auf ca. vier Kilometer bei den Eisschilden

## Arbeitsmaterial E2 "Zwischen Himmel und Eis"

Vor oder nach der  
Filmbetrachtung

### Von Schnee zu Firn zu Eis

Wandelt sich der Schnee zu Firn und zu Eis, verändert er seine Struktur und seine Dichte. Schnee hat eine Dichte von  $200\text{-}400\text{ kg/m}^3$  und enthält sehr viel Luft. Kommt neuer Schnee oben drauf, wird der darunter liegende Schnee zusammengedrückt. Dabei wird er kontinuierlich dichter. Die Luft sammelt sich in Poren und Kanälen. Erreicht die ehemalige Schneelage eine Dichte von  $840\text{ kg/m}^3$ , wird sie zu Blaseneis. Die Luft ist in einzelne Luftblasen im Eis eingeschlossen. Diese Luftblasen erlauben uns, die Luft von vor vielen Jahrtausenden direkt zu untersuchen, ihren  $\text{CO}_2$ -Gehalt zum Beispiel.

Wenn das Eis noch weiter zusammengedrückt wird, werden die Luftblasen in das Eisgitter eingebaut. Pures Eis hat eine Dichte von  $917\text{ kg/m}^3$ .

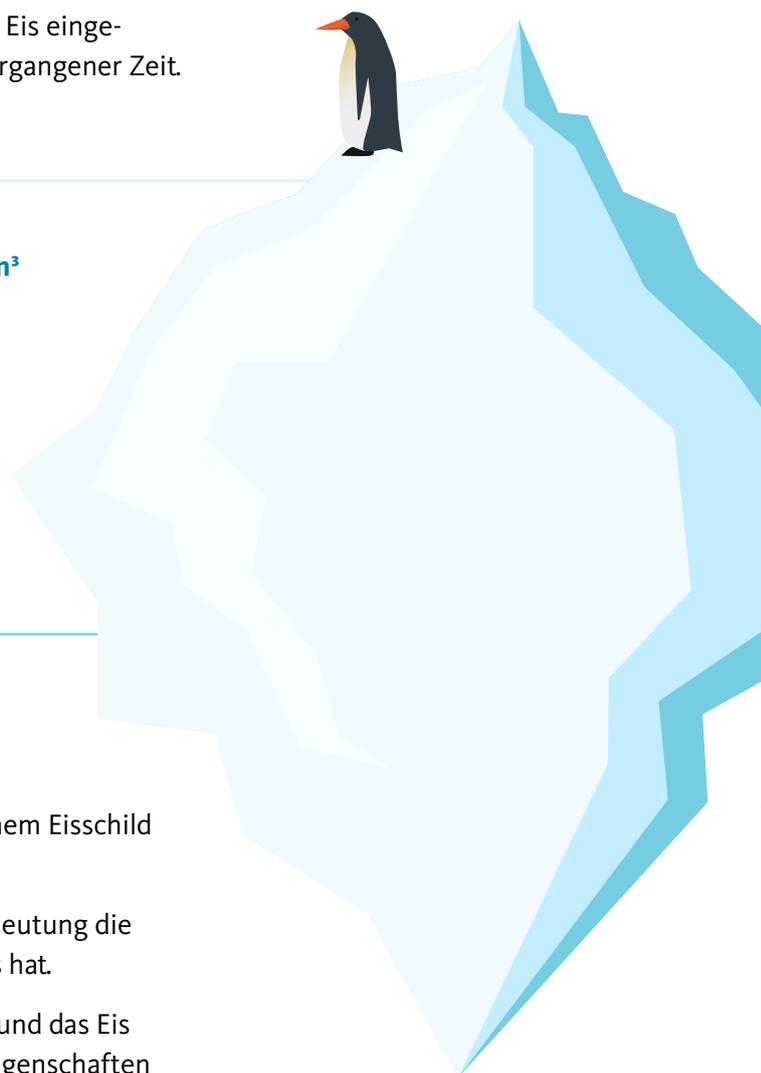
**Firn:** alter Schnee, der einen Sommer überlebt hat

**Dichte:** Materialeigenschaft; beschreibt, wie schwer ein Material bezogen auf ein bestimmtes Volumen ist

**Verdichtung:** geht einher mit der Umwandlung von Schnee zu Eis

**Luftblasen im Eis:** werden bei der Verdichtung im Eis eingeschlossen, sind gefüllt mit Atmosphärenluft aus vergangener Zeit.

Schnee		Dichte: $200\text{-}400\text{ kg/m}^3$
Firn		Dichte: $840\text{ kg/m}^3$
Eis		Dichte: $917\text{ kg/m}^3$



### Aufgaben

- ▶ Beschreiben Sie, was passiert, wenn sich auf einem Eisschild nach und nach immer mehr Schnee ablagert.
- ▶ Formulieren Sie in eigenen Worten, welche Bedeutung die Massenbilanz eines Eisschildes oder Gletschers hat.
- ▶ Vergleichen Sie den Schnee an der Oberfläche und das Eis im unteren Bereich eines Eisschildes: Welche Eigenschaften bleiben gleich, welche ändern sich?

## Arbeitsmaterial E3 "Zwischen Himmel und Eis"

Vor oder nach der  
Filmbetrachtung

### Hintergrundwissen II: Eiskerne und Klimageschichte – was ist ein Klimaarchiv?

von Maria Hörhold und Johannes Freitag

(Alfred-Wegener-Institut – Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung)

Wenn man sich vorstellt, dass man ein Jahr lang jeden Tag auf einem Blatt Papier das Wetter notiert, Temperatur, Niederschlag oder Wind und das Papier auf einen Stapel legt, dann generiert man ein Wetter-Archiv über das vergangene Jahr. Die Blätter speichern die Information von jedem einzelnen Tag. Sammelt man diese Blätter über viele Jahrtausende kann man auch langfristige Änderungen im Wetter dokumentieren (zum Beispiel kältere Sommer oder wärmere Winter) und man hätte ein Klimaarchiv. In der Antarktis oder in Grönland entsprechen einzelne Schneefälle, bei denen neuer Schnee auf den Eisschild deponiert wird, einem Blatt Papier. Jede Schneeschicht enthält ein ganz charakteristisches Signal, entsprechend der klimatischen Bedingungen zum Zeitpunkt des Schneefalls.

Rückschlüsse auf die Temperatur sind beispielsweise durch die Untersuchung von Sauerstoffisotopen möglich. Da die Häufigkeit bestimmter Sauerstoffisotope mit der Temperatur gekoppelt ist, kann man aus dem Mengenverhältnis dieser Isotope in einer alten Eisprobe auf die damalige Temperatur schließen. Die Temperatur zum Zeitpunkt wird also gewissermaßen in den Schnee „geschrieben“.

Außerdem kann der Schnee Partikel enthalten, die zum Beispiel vom Meersalz in die Luft gelangen. Da die Partikelkonzentration im Sommer anders aussieht als im Winter, kann man diese Messungen nutzen, um Jahreszeiten und somit einzelne Jahre zu sehen. Somit kann man das Alter von tieferen Schnee- und Eislagen bestimmen.



## Arbeitsmaterial E3 "Zwischen Himmel und Eis"

Vor oder nach der  
Filmbetrachtung

### Stichwörter rund um das Eis

**Schmelzen:** Im Sommer 2012 ist auf dem grönländischen Eisschild die oberste Schneeschicht geschmolzen. In so einem Fall läuft das Wasser in die Poren und nach unten in den Firn, wo es wieder gefriert (= Blatt Papier von oben weg nehmen und weiter unten in den Stapel legen).



**Erosion:** Wind bläst Schneeschicht weg (die oberen ein bis zwei Blätter vom Papierstapel fehlen) oder bringt über Schneetreiben Schnee von woanders (auf Papierstapel landen fünf Blätter vom Papierstapel nebenan).

**Vulkane:** Wenn irgendwo auf der Erde ein großer Vulkan ausbricht, schleudert er Staub und Partikel weit hoch in die Atmosphäre. Sie landen auch auf den Eisschilden und sind dort deutlich zu erkennen (Blatt schwarz anmalen und auf Stapel legen).

**Atombombentests:** Auch die großen Atombombentests nach den Weltkriegen schleuderten eine Menge radioaktiver Partikel in die Luft, die auf dem Eisschild landeten; man kann sie in den Eiskernen messen.

**Eislabore:** Viele Arten von Messungen kann man nicht direkt im Feld machen, weil man dafür aufwendige Apparaturen benötigt. Auf der anderen Seite muss das Eis kalt bleiben, sonst schmilzt es. Dafür betreiben die Polarforschungsinstitute Kaltlabore – also Labore, in denen es -15 Grad Celsius oder -20 Grad Celsius oder manchmal sogar kälter ist. Die Menschen, die dort arbeiten, müssen spezielle Kleidung tragen – warme Anzüge, Stiefel, Handschuhe – so, als wenn sie auf dem Gletscher oder dem Eisschild wären.

**Alter des Eises:** Bisher ist das älteste Eis aus einem Eiskern in der Antarktis um die 800.000 Jahre alt. Man möchte gerne noch älteres Eis finden. Das ist nicht so einfach, da der Eisschild ja nur eine bestimmte Dicke erreichen kann (siehe Eisdicke, Arbeitsmaterial E 2) und unten deformiert wird. Gerade aktuell werden viele Methoden eingesetzt, um einen passenden Ort für einen neuen Eiskern zu finden.



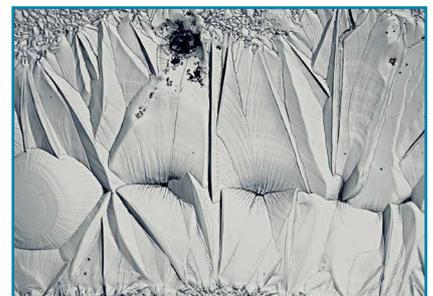
**Meereis:** Eis, das sich beim Gefrieren von Meerwasser bildet. Das Eis entsteht also nicht durch

Schnee oder gefrierenden Regen, sondern durch Meerwasser, das an der Meeresoberfläche so abgekühlt wird, dass sich daraus Eis bildet. Das passiert bei Temperaturen um -1,7 Grad Celsius (nicht 0 Grad Celsius wie bei Regenwasser), da im Meerwasser Salz enthalten ist. Schmilzt das Meereis, ändert das nicht den Meeresspiegel.

**Nordpol:** Der geografische Nordpol der Erde ist vom Polarmeer bedeckt, auf dem sich Meereis gebildet hat. Das ist der Unterschied zum Südpol.

**Südpol:** Hier gibt es einen Kontinent mit einem Eisschild drauf (Antarktis).

**Eisberg:** Bruchstücke von Eisschilden; bestehen also aus Süßwasser wie die Eisschilde und schwimmen im Meer (Salzwasser).

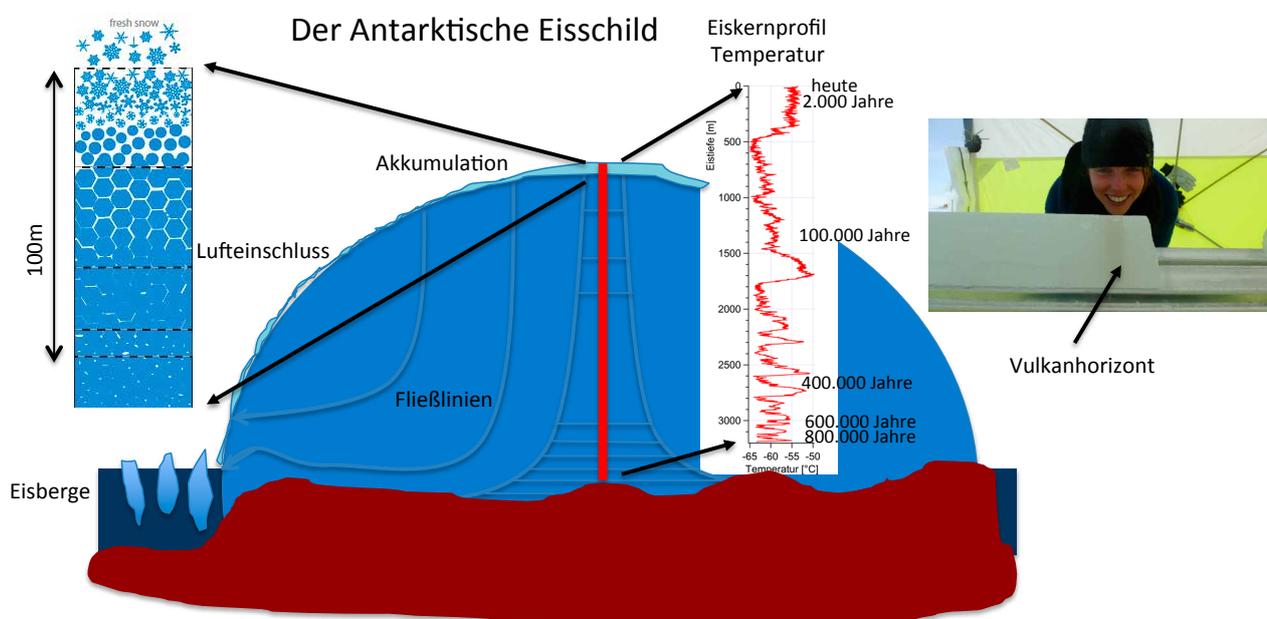


**Permafrost:** wenn Gebiete ganzjährig unter 0 Grad Celsius sind – zum Beispiel die kanadische Tundra, Sibirien, der Norden Skandinaviens – gefriert das Wasser im Boden, formt teilweise Eislinsen.

## Arbeitsmaterial E3 "Zwischen Himmel und Eis"

Vor oder nach der  
Filmbetrachtung

## Eiskernbohrung – Querschnitt



Schematischer Querschnitt durch das Antarktische Eisschild mit einer Bohrung am Summit (höchster Punkt des Eisschildes). Dargestellt ist ein aus stabilen Wasserisotopen errechnetes Temperaturprofil über die Gesamttiefe eines Eiskernes. Die Daten stammen von dem Eiskern EDC, der an der Domposition Concordia (75°S, 123°O, 3.233 Meter ü. d. Meeresspiegel) in der Ostantarktis gebohrt wurde. Das Eisalter reicht am Boden zurück bis über 800.000 Jahre vor heute. Durch den hohen Druck von oben wird das Eis in der Tiefe verdichtet und zur Seite gepresst. Deshalb wird die Klimazeitreihe in der Tiefe gestaucht: Während in den tiefsten 100 Metern Eis ca. 100.000 Jahre gespeichert sind, enthalten die obersten 100 Meter nur ca. 2.000 Jahre. Zwei gleich lange Bohrkernstücke können also ganz unterschiedlich lange Zeiträume abbilden – je nachdem, aus welcher Tiefe sie kommen.

## Aufgaben

- ▶ Beschreiben Sie in eigenen Worten, was mit dem Wort „Klimaarchiv“ gemeint ist.
- ▶ Nennen Sie drei Informationen, die ein Eisbohrkern über einen lange zurückliegenden Zeitraum enthält.
- ▶ Wie weit lässt sich durch Eisbohrkerne die Klimageschichte rekonstruieren? Nennen Sie den Grund, warum es eine zeitliche Obergrenze gibt.
- ▶ Sehen Sie sich das Querschnitt-Diagramm an: Sie haben als Forscher/in einen ein Meter langen Eisbohrkern aus 20 Meter Tiefe und ein gleich langes Stück Eis aus 2.000 Meter Tiefe. Wie unterscheiden sie sich?

## Arbeitsmaterial E4 "Zwischen Himmel und Eis"

Nach der Filmbetrachtung

### Eine Antarktis Expedition im Jahr 2013

Die Fotoserie stammt von der Bohrkampagne COFI (=coldest firn) in der Ostantarktis (77°S, 39°O) im Januar 2013. Im Rahmen der Kampagne wurde ein Bohrteam von vier Wissenschaftlern mit dem Flugzeug in einer der kältesten Regionen der Erde abgesetzt, um glaziologische Untersuchungen durchzuführen und einen Bohrkern von 200 Metern Länge zu erbohren. Die Temperaturen liegen dort im Jahresmittel unterhalb von -50 Grad Celsius und erreichen selbst im Sommer nur selten -25 Grad Celsius. Ziel der Mission war es, die Bildung des Klimaarchivs Eis unter extremen Bedingungen zu studieren. Die Mission konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Die Wissenschaftler wurden nach einem Monat mit dem Flugzeug wieder ausgeflogen. Der 200 Meter lange Eiskern wurde erst ein Jahr später geborgen und im April 2014 zur weiteren Untersuchung nach Bremerhaven ins Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung gebracht.



*Polarflugzeug Polar6 auf Skiern im Eis. Polar6 wird vom Alfred-Wegener-Institut zur Unterstützung und Durchführung wissenschaftlicher Expeditionen in den Polarregionen eingesetzt.*



*Das Bohr-Camp (von links nach rechts): Generatorzelt, Toilettenzelt, vier kleine Schlafzelte, Gemeinschaftszelt, zwei Bohrzelte. Im Vordergrund der aufgebaute Eisbohrer, sichtbar der abgespannte Bohrturm mit Umlenkrolle für Bohrkabel und Bohrer.*



*Ausfliegen des Bohrteams an die neue Bohrposition von COFI im Niemandsland der Ostantarktis. Das Bohr-Camp wird an einer Position aufgebaut, an der sich im Umkreis von 800 Kilometern keine Menschen aufhalten.*



*Das Bohr-Camp in der Abendstimmung*

## Arbeitsmaterial E4 "Zwischen Himmel und Eis"

Nach der Filmbetrachtung



Eiskerne werden aus dem Bohrer entnommen.



Aus der Nähe sind die eingeschlossenen Luftblasen zu erkennen.



Ein perfekter Eiskern



Beim Kaffeetrinken ergeben sich kleinere Hindernisse.

## Das Alfred-Wegener-Institut – Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung



ALFRED-WEGENER-INSTITUT  
HELMHOLTZ-ZENTRUM FÜR POLAR-  
UND MEERESFORSCHUNG

Für die Forscher des Alfred-Wegener-Institutes (AWI) sind die extremen Wetter- und Klima-

bedingungen an Nord- und Südpol nicht nur kein Problem – sie gehören zu ihren wichtigsten Themen. Welche Rolle spielen die polaren Regionen im Klimawandel, wie verändern sich die Lebensbedingungen der hoch spezialisierten Tier- und Pflanzenarten? 1980 wurde das AWI mit nur wenigen Mitarbeitern/innen gegründet, heute sind dort über 1.000 Menschen beschäftigt. Die meisten von ihnen arbeiten in der Zentrale in Bremerhaven; Außenstellen gibt es in Potsdam, auf Helgoland und Sylt. Um die Forschungs- und Messstationen in den entlegensten Punkten der Welt zu erreichen, unterhält das AWI zwei Flugzeuge und mehrere Schiffe, darunter das mit fast 120 Metern Länge größte deutsche Forschungsschiff, die „Polarstern“.

Auf der Internetseite [www.awi.de](http://www.awi.de) finden sich zahlreiche gut aufbereitete Hintergrundtexte und Grafiken sowie Fotos und Videos.

### Aufgaben

- ▶ Vergleichen Sie Fotos mit Ihren Eindrücken vom Film ZWISCHEN HIMMEL UND EIS. Benennen Sie Unterschiede und Ähnlichkeiten in der Arbeitsweise und den Forschungsbedingungen.
- ▶ Informieren Sie sich auf der Internetseite des Alfred-Wegener-Institutes ([www.awi.de](http://www.awi.de)) über die letzten Nachrichten aus der Glaziologie.

## Arbeitsmaterial E5 "Zwischen Himmel und Eis"

Nach der Filmbetrachtung

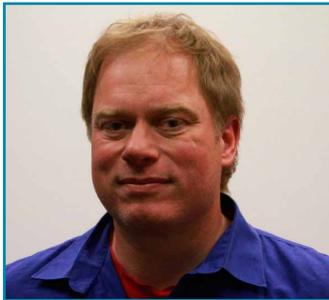
Der Film

Hinweise für Lehrer/innen

Arbeitsmaterialien „Meeresforschung“

Arbeitsmaterialien zum Film

## „Eiskerne sind das Klimaarchiv unseres Planeten“



## Interview mit dem Glaziologen Frank Wilhelms

Frank Wilhelms ist eigentlich Physiker und arbeitet heute als Spezialist für Eiskernbohrungen am Alfred-Wegener-Institut – Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung. Sein Forschungsgebiet führt ihn immer wieder in besonders schwer zugängliche Weltgegenden, da Eiskernbohrungen oft da durchgeführt werden, wo das Eis besonders dick ist – also im Innern der Antarktis oder Grönlands

**Herr Wilhelms, kaum jemand weiß, was Glaziologie ist – womit beschäftigen Sie sich?**

Glaziologie ist die Lehre vom Eis. Das reicht von reiner Forschung im Labor, etwa der Untersuchung von Eiskristallen und ihrer Struktur, bis hin zur Erkundung großer Gletscher und Eiskappen. Und ein wichtiger Bereich ist eben auch die Analyse von Eisschichten als Klimaarchiv.

**Ist die Glaziologie erst im Zusammenhang mit der Forschung zum Klimawandel entstanden oder gibt es diesen Forschungsbereich schon länger?**

Themen wie Gletscherforschung gibt es schon wesentlich länger – das waren früher dann eher Geologen, die sich mit den Formen und Veränderungen von Gletschern beschäftigt haben. Die Internationale Gesellschaft für Glaziologie wurde 1936 gegründet – das war sicher ein Meilenstein zur Etablierung der Glaziologie im heutigen Sinne.

**Wie sind Sie selbst zu diesem Fachgebiet gekommen?**

Ich habe Physik studiert und habe mal im Fernsehen etwas über Eiskerne gesehen und gedacht: Das könnte dich interessieren. Dann habe ich mir ein Institut gesucht, wo man in dem Bereich forschen kann. Das lief tatsächlich so einfach, wie es klingt.

**Das Alfred-Wegener-Institut ist ja bekannt für seine zahlreichen Expeditionen – da werden Sie vermutlich nicht nur im Labor arbeiten.**

Ich habe insgesamt etwa drei Jahre meines Lebens auf Expeditionen in Grönland und der Antarktis verbracht. Es gab eine Zeit, in der ich jedes Jahr unterwegs war – zum Teil sowohl im Norden wie auch im Süden. Aber jetzt – ich habe eine Familie mit kleinen Kindern – mache ich das nicht mehr so häufig. Es wird aber vielleicht irgendwann wieder mehr.

*„Man ist heute durch Kommunikationsmittel besser abgesichert.“*

**Im Film ZWISCHEN HIMMEL UND EIS arbeiten die Forscher zum Teil unter sehr schwierigen Bedingungen – das ist ja auch nicht ohne Risiko. Heutige Forschungsreisen muss man sich vermutlich etwas anders vorstellen, oder?**

Meine erste Expedition fand auch unter sehr einfachen Bedingungen statt. Wir sind mit kleinen Pistenbullys und Schlitten durch Grönland gefahren und haben an verschiedenen Stellen Eiskerne gebohrt, die dann mit physikalischen Methoden analysiert wurden. Es gab keine feste Unterkunft – wir haben in Zelten geschlafen.

## Arbeitsmaterial E5 "Zwischen Himmel und Eis"

Nach der Filmbetrachtung

Man kann auch heute noch in diesem sehr einfachen Stil forschen, es ist aber durch Kommunikationsmittel besser abgesichert. Im Notfall kann man über Kurzwellenfunk oder Satelliten-Telefon Hilfe per Flugzeug organisieren. Das ist zwar teuer und aufwendig, aber es geht.

Wenn man auf diese ganz einfache Art unterwegs ist, kostet es wahnsinnig viel Zeit, sich einfach nur am Leben zu erhalten. Dann ist man mehrere Stunden am Tag nur mit Kochen und Packen und Schneeschmelzen für die Wasserversorgung beschäftigt. Bei größeren Expeditionen ist mehr logistische Unterstützung dabei – zum Beispiel auch ein Koch, der zentral die Versorgung übernimmt. Das ist vor allem dadurch motiviert, dass man auf diese Weise viel effizienter arbeiten kann. Die Neumayer-Station des Alfred-Wegener-Institutes bietet einem Forscher natürlich eine traumhafte Arbeitssituation mit vielen Möglichkeiten.



### Was sind Ihre augenblicklichen Themen?

Zurzeit bin ich mit einem Projekt in Grönland beschäftigt, bei dem es um einen Kern

geht, der zum ersten Mal in einen Eisstrom hineingebohrt wird – das geht sehr tief runter. Bisher kreisten die Fragestellungen bei solchen Projekten vor allem um die Rekonstruktion des Klimas. Jetzt geht es tatsächlich um die Frage, wie schnell das Eis vom Inland nach außen ins Meer fließt. Das ist ja ein entscheidender Punkt für den Anstieg des Meeresspiegels.

### Wie zuverlässig ist eigentlich die Altersbestimmung bei sehr tiefen Bohrungen? Schließlich ist das Eis doch immer in Bewegung.

Die Datierung ist sicher ein Problem. Es gibt aber verschiedene Anhaltspunkte für die Altersbestimmung. Man kann die Kerne verschiedener Bohrungen miteinander in Beziehung setzen und versucht über Verknüpfungspunkte, die Systeme zu synchronisieren. Es geht dabei nicht unbedingt darum, das Alter absolut zu bestimmen, sondern darum, das System insgesamt zu verstehen. Dabei werden auch Modellierungen über den Eisfluss eingerechnet.

*„Im Hinblick auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß existiert eine falsche Beweislast“*

### Der Film ZWISCHEN HIMMEL UND EIS thematisiert ja fast ausschließlich die Arbeit mit Eisbohrkernen. Ist diese Methode noch immer von so zentraler Bedeutung?

Die Eiskerne sind das einzige direkte Archiv der Atmosphäre. Im Eis ist zum einen der Niederschlag vergangener Zeiten aufgehoben, es ist aber auch die Luft eingeschlossen. Das gibt es in keinem anderen Archiv in dieser Kombination. Es gibt zwar auch andere Methoden, den CO<sub>2</sub>-Gehalt zu rekonstruieren, aber die sind wesentlich fehleranfälliger.

## Arbeitsmaterial E5 "Zwischen Himmel und Eis"

Nach der Filmbetrachtung

**Ihr Forschungsgebiet ist durch die Diskussion um den Klimawandel mitten in politische und öffentliche Auseinandersetzungen geraten.**

**Wie gehen Sie mit dieser Situation um?**

Ich bin in erster Linie Naturwissenschaftler, aber ich habe auch eine politische Meinung. Als Bürger denke ich, dass im Hinblick auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß eine falsche Beweislast existiert. Überall gilt das Prinzip: Wer etwas in die Luft emittiert, muss beweisen, dass er damit keinen Schaden anrichtet. Nur beim CO<sub>2</sub> sieht es anders aus. Wenn jemand sagt, dass ein höherer CO<sub>2</sub>-Ausstoß auf Dauer schwerwiegende Folgen haben wird, dann heißt es: Das muss erst einmal bewiesen werden. Das finde ich vom Grundansatz her falsch. Eigentlich müsste jeder, der in größeren Mengen CO<sub>2</sub> abgibt, beweisen, dass er damit keinen Schaden anrichtet. Diese Beweise zu führen ist sehr schwierig, wenn man es statistisch absolut sauber durchführen möchte.

Als Wissenschaftler würde ich allerdings nicht politisch agitieren. Ich denke, dass Gutachter neutral bleiben müssen. Wir produzieren das Wissen, mit dem die Gesellschaft dann umgehen

muss. Wenn man als Gutachter zugleich mit einer politischen Mission auftritt, wird man unglaubwürdig.

**Andererseits gibt es im Bereich der Politik vielleicht zu wenige Menschen, die in der Lage und bereit sind, die wissenschaftlichen Zusammenhänge zu durchschauen.**

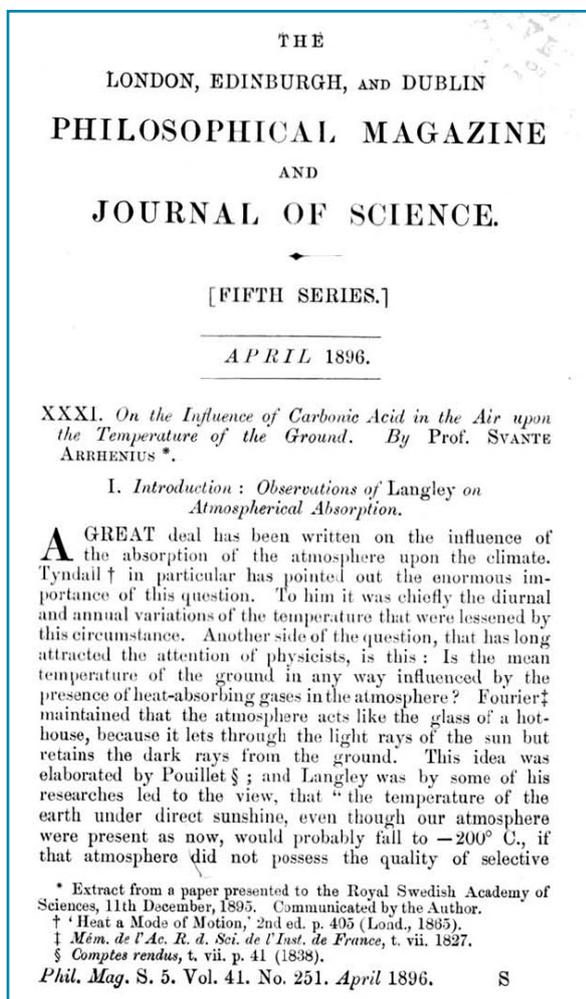
Das ist die Herausforderung. Nehmen Sie die IPCC-Berichte – ich finde, die leisten in dieser Hinsicht sehr viel. Die IPCC-Forscher sichten die gesamte Forschungsliteratur – das ist ein Riesenaufwand. Dann bewerten sie die Literatur danach, wie verlässlich sie ist. Und sie versuchen, die statistischen Aussagen in eine allgemeine Sprache zu übersetzen. Aus dem gesamten Material werden dann verschiedene Texte produziert, auch kurze Zusammenfassungen, die als Grundlage für politische Entscheidungsträger dienen. Da wird sehr viel Aufwand betrieben, um Wissenschaft verständlich zu machen. Zugleich kann aber auch jeder, der es wissenschaftlich versteht, in die Tiefe gehen und nachlesen, ob sauber gearbeitet wurde.

**Vielen Dank für das Gespräch!**

## Arbeitsmaterial E5 "Zwischen Himmel und Eis"

Nach der Filmbetrachtung

## Das Eis und der Klimawandel



In einem Aufsatz von 1896 stellt Svante Arrhenius Überlegungen zum Zusammenhang zwischen CO<sub>2</sub>-Gehalt und Klimaänderungen an – allerdings noch ohne die Verbrennung fossiler Rohstoffe als mögliche Ursache für den Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehaltes explizit zu benennen.

Bereits Ende des 19. Jahrhunderts untersuchte der schwedische Physiker und Chemiker Svante Arrhenius den Zusammenhang zwischen dem CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre und möglichen Klimaschwankungen. Dass das Verbrennen fossiler Rohstoffe einen Temperaturanstieg zur Folge haben könnte, war ihm bewusst, wurde aber erst später explizit thematisiert.

Bis in die 1960er Jahre wurde dieser Zusammenhang angezweifelt und konnte nicht eindeutig bewiesen werden. Ein Problem bestand darin, kurzfristige Schwankungen von langfristigen Trends zu isolieren. Ein wichtiger Schritt gelang 1958, als der Chemiker Charles David Keeling einen mittleren globalen Anstieg des Treibhausgases CO<sub>2</sub> nachweisen konnte. Die entsprechende grafische Darstellung heißt nach ihm Keeling-Kurve.

Aber führt der Anstieg von CO<sub>2</sub> auch zwingend zu einem Anstieg der Temperatur? Für diesen Zusammenhang lieferten Eisbohrkerne wichtige Hinweise. Mithilfe einer Isotopenanalyse des Wassers ist es möglich, aus den alten Eisschichten Rückschlüsse auf die Temperatur zu der jeweiligen Zeit zu ziehen (Isotopenthermometer). Da im Eis auch kleine Luftblasen eingeschlossen sind, kann zusätzlich die Zusammensetzung der Atmosphäre analysiert werden. Das Ergebnis sind drei Kurven, die weitgehend parallel laufen: Steigt der Gehalt von CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> (Methan), dann steigt auch die Temperatur.

Wegweisende Ergebnisse lieferte dabei die Analyse des über 3.000 Meter langen Eisbohrkerns aus der russischen Antarktisch-Forschungsstation Vostok, der so genannte Vostok-Eisbohrkern. An der Erstellung der Klimaverläufe der letzten 420.000 Jahre war auch der französische Glaziologe Claude Lorius beteiligt. Mittlerweile reicht das Klimaarchiv doppelt so weit zurück.

Eine Korrelation zwischen CO<sub>2</sub>-Gehalt und Temperatur zu messen, heißt noch nicht, einen kausalen Zusammenhang herzustellen. Dieser ergibt sich im Kontext des Treibhauseffektes: Die von der Sonne ankommende kurzweilige

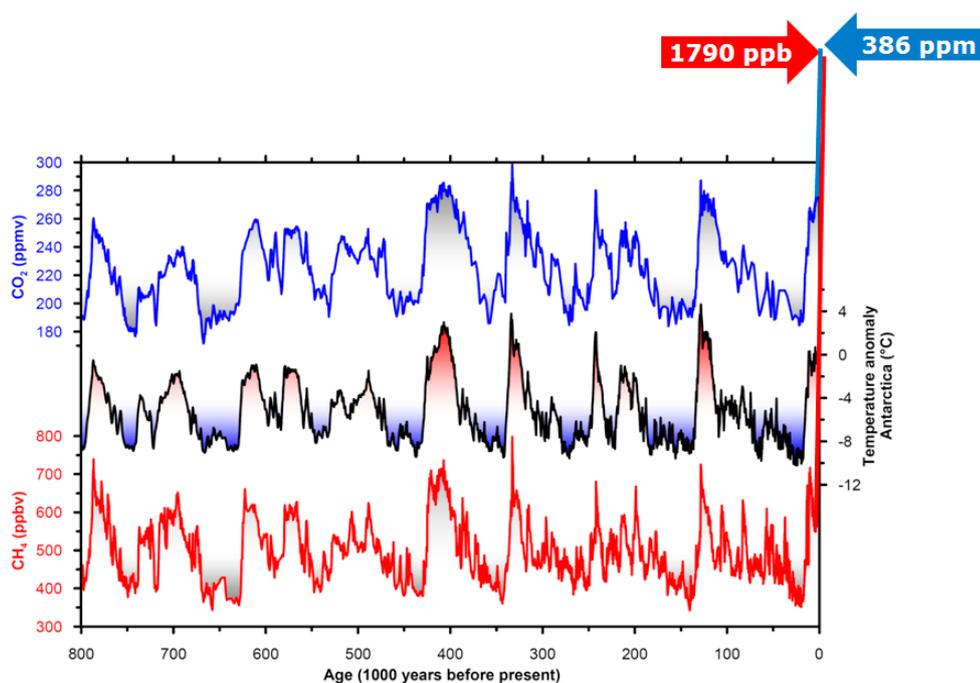
## Arbeitsmaterial E5 "Zwischen Himmel und Eis"

Nach der Filmbetrachtung

Strahlung gelangt durch die Atmosphäre weitgehend ungehindert bis auf die Erdoberfläche. Die erwärmte Erde strahlt eine langwellige Infrarotstrahlung zurück. Wie viel von dieser Strahlung in der Atmosphäre zurückgehalten wird (und zu deren Erwärmung beiträgt), hängt von der Menge der Treibhausgase ab. Neben Wasserdampf ist CO<sub>2</sub> eines der wichtigsten Treibhausgase. Es gibt also einen natürlichen

Treibhauseffekt, der durch den vom Menschen verursachten Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der Atmosphäre verstärkt wird.

Im 5. Sachstandsbericht des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) schreiben die Experten 2014, es sei „extrem wahrscheinlich“, dass der Mensch der Hauptgrund für die beobachtete globale Erwärmung seit 1950 ist.



Auswertung eines Eisbohrkerns aus dem so genannten Dome C in der Antarktis: Über einen Zeitraum von 800.000 Jahren werden CO<sub>2</sub>-Gehalt (oben) und Methan-Gehalt (unten) in der Atmosphäre sowie die Temperaturschwankungen in der Antarktis dargestellt. Unschwer zu erkennen sind die enge Kopplung zwischen den Verläufen dieser drei Größen und der massive Anstieg der beiden Treibhausgase am Ende der Zeitskala. Die Pfeile markieren den Stand der Konzentrationen im Jahr 2009.

### Aufgaben

- ▶ Lesen Sie das Interview mit Frank Wilhelms. Diskutieren Sie, ob und warum Sie sich eine ähnliche berufliche Tätigkeit vorstellen/nicht vorstellen könnten.
- ▶ Geben Sie in eigenen Worten wieder, wie Frank Wilhelms die Rolle eines Naturwissenschaftlers versteht, der in einem politisch brisanten Themenfeld tätig ist.
- ▶ Beschreiben Sie, welche Bedeutung die Glaziologie für die Klimaforschung hat.
- ▶ Schildern Sie, was im Diagramm oben dargestellt wird. Inwiefern sind in den Kurvenverläufen menschliche Einflüsse zu erkennen? Lässt sich aus dem Kurvenverlauf der Klimawandel zwingend ableiten?

## Arbeitsmaterial E6 "Zwischen Himmel und Eis"

Nach der Filmbetrachtung

### Wissenschaft in der Antarktis – gestern und heute

Der Film ZWISCHEN HIMMEL UND EIS thematisiert eine Forscherbiografie, aber er inszeniert auch wissenschaftliche Arbeit und das Selbstverständnis von Wissenschaft. Dabei stellt die Antarktis als lebensfeindlicher Ort bis heute große Herausforderungen an Mensch und Technik.



Eine Szenenfoto aus ZWISCHEN HIMMEL UND EIS (Antarktis-Expedition in den 1950er Jahren)



Ein aktuelles Foto des Alfred-Wegener-Institutes (Expedition von 2013)

### Aufgaben

- ▶ Vergleichen Sie die bildlichen Darstellungen von Forschungsarbeiten in der Antarktis. Beachten Sie Bildaufbau, Menschen und Gegenstände. Welcher Eindruck über die Feldforschung soll jeweils vermittelt werden? Welches Bild wirkt auf Sie eher wie eine bewusste Inszenierung?
- ▶ Vergleichen Sie die Informationen, die der Film über Ausstattung, Technik und Sicherheit der ersten Antarktis-Expedition von Claude Lorius enthält, mit der Darstellung gegenwärtiger Polarforschung auf der Internetseite des Alfred-Wegener-Institutes ([www.awi.de](http://www.awi.de)). Werden Wetterextreme, Abgeschiedenheit und schwere Zugänglichkeit heute überhaupt noch als Problem empfunden? Welche Rolle spielt technische und logistische Unterstützung bei der Selbstdarstellung der Polarforschung?
- ▶ Forscher, wie Claude Lorius verstanden sich auch als Abenteurer und Entdecker. Diskutieren Sie, ob dies wohl auch auf heutige Antarktis-Forscher zutrifft. Informieren Sie sich über die Antarktis-Expeditionen des 19. und frühen 20. Jahrhunderts, zum Beispiel die Endurance-Expedition von Ernest Shackleton (1914–16).

## Arbeitsmaterial E7 "Zwischen Himmel und Eis"

Nach der Filmbetrachtung

## ZWISCHEN HIMMEL UND EIS – Gestaltung eines thematischen Motivs untersuchen

Das folgende Sequenzprotokoll bezieht sich auf eine Passage am Anfang des Films (Minute 3:50–7:35). Es enthält wesentliche Bildinformationen und den Text der Erzählstimme.

Tonebene (ohne Musik)	Bildebene
<p>Mein Name ist Claude Lorius.</p> <p>Ich bin jetzt 82 Jahre alt und erstaunt, welche Auswirkungen unsere Entdeckungen haben können.</p>	<p>Lorius geht durch eine Art Eistunnel. Nahaufnahme einer Eisfläche; das Licht einer altertümlichen Lampe spiegelt sich darin; Lorius' Gesicht dacht davor.</p>
	<p>Ein niedergebrannter Wald, rauchende Überreste umgestürzter Bäume.</p> <p>Lorius kommt ins Bild; er geht durch die Waldlandschaft; unterhalb der abgebrannten Bäume wächst üppiger Farn. Seine Hand streicht über die Farnwedel.</p>
<p>Ich habe gesehen, dass die Menschen in der Zeitspanne eines einzigen Lebens durch das Verbrennen von Öl, Holz und Kohle das Klima auf der Erde verändern.</p>	<p>Lorius' Füße; er geht durch ein Rinnsal in einer Felslandschaft; Wechsel der Einstellung: Lorius nur noch als winzige Gestalt in der Felsenlandschaft.</p>
<p>Ich ging Tausende von Jahren zurück, um zu überprüfen, ob das, was ich entdeckt hatte, nicht nur eine Laune der Natur war. Ich suchte sehr genau, um alle verbliebenen Zweifel auszuräumen. Jetzt bin ich ein alter Mann, der traurig erkennt, dass die Geschichte ihm Recht gegeben hat.</p>	<p>Lorius in einer arktischen Küstenlandschaft. Er betrachtet das Gerippe eines Wales, taucht hinter einem verfallenen Gebäude auf.</p>
<p>Alle Vorhersagen werden wahr. Die polaren Eiskappen und die Gletscher schmelzen. Inseln von Wasser überflutet, brennende Wälder, umgedrehte Meeresströmungen, Stürme, die sich häufen und stärker werden. Unter hinter alledem: Männer und Frauen, die leiden.</p>	<p>Lorius steht bis zu den Oberschenkeln im flachen Meerwasser, das sich bis zum Horizont erstreckt.</p> <p>Wellen treffen auf ein flaches Meerufer.</p>
<p>Wissenschaft ermöglicht es mir, in die Zukunft zu blicken. Ich werde euch erzählen, was ich gesehen habe. Ich werde euch meine Geschichte erzählen.</p> <p>Für mich begann alles am 31. Oktober 1956.</p>	<p>Lorius in Großaufnahme; dann Rückenansicht, er blickt auf ein Felsental mit einem schmalen Gletscher.</p> <p>Zeitraffer-Projektion rückwärts: Der Gletscher wächst, füllt das ganze Felsental aus.</p> <p>Kamerafahrt rückwärts. Lorius als junger Mann (Fotoausschnitt) kommt ins Bild und blickt ebenfalls auf den Gletscher.</p>

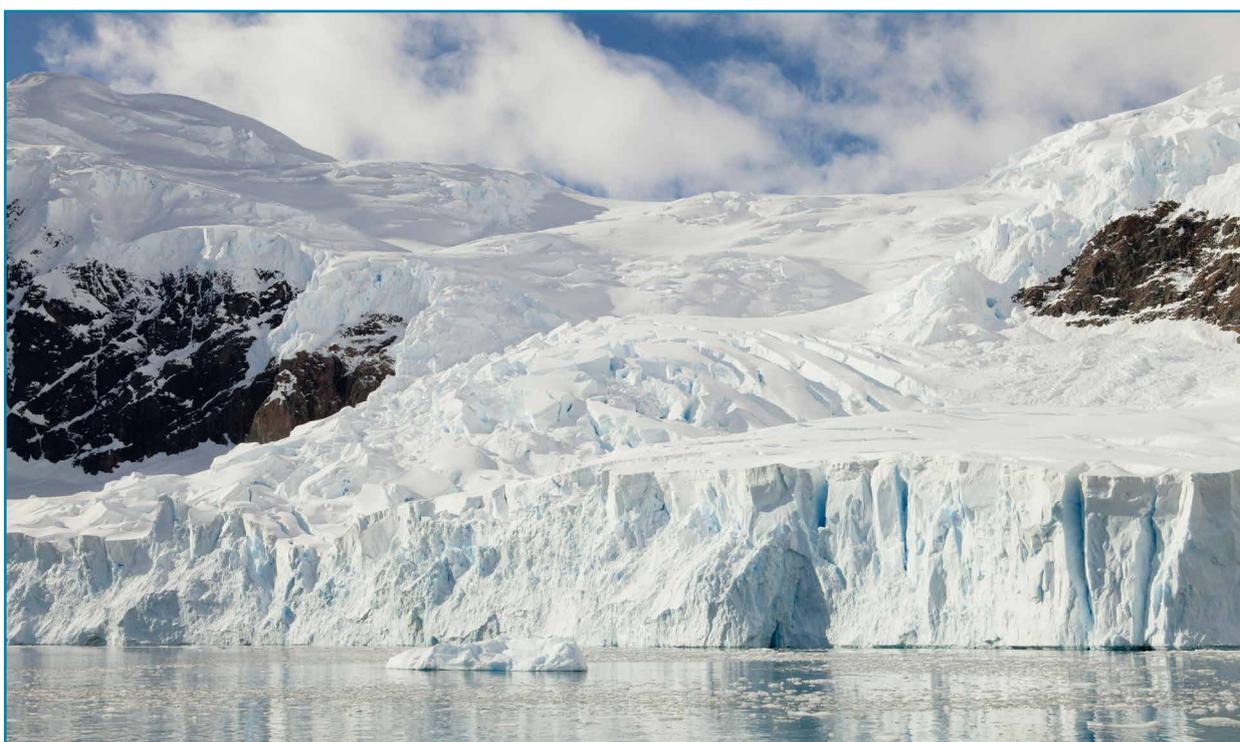
## Arbeitsmaterial E7 "Zwischen Himmel und Eis"

Nach der Filmbetrachtung

Tonebene (ohne Musik)	Bildebene
(Im Hintergrund Hafengeräusche, eine Rundfunkstimme berichtet über eine Expedition.)	Historische Filmaufnahmen: Männer arbeiten auf einem Schiff, das in einem Hafen liegt.
Wenn ich mich jetzt sehe ...  Was für eine glückliche Fügung! Im Alter von 23 Jahren brach ich auf, um die Welt zu umrunden.	Seesäcke werden gepackt, Blick auf Bücher und eine alte Filmkamera. Winkende Frauen.  Vom Oberdeck aus ist zu sehen, wie das Schiff ablegt.

### Aufgaben

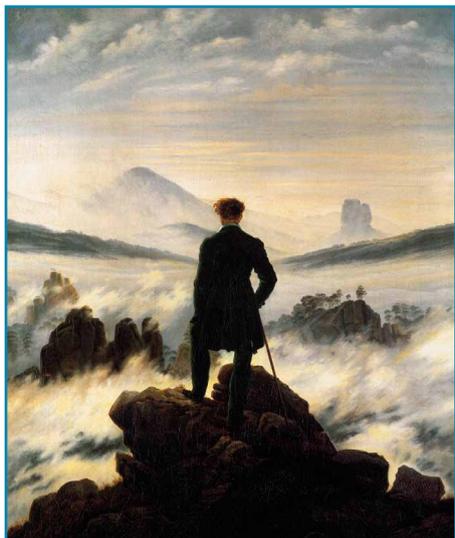
- ▶ Lesen Sie den Erzählertext und die Zusammenfassung der Bildebene. Beschreiben Sie anhand dieses Ausschnittes, auf welche Weise der Film Wissenschaft filmisch darstellt und in Zusammenhänge einordnet.
- ▶ Lesen Sie den Erzählertext und markieren Sie alle Stellen, die sich mit verschiedenen Aspekten der Zeit befassen (Lebenszeit, historische Zeit, erdgeschichtliche Zeit). Untersuchen Sie daraufhin die Bildsprache im Hinblick darauf, wie sie das Motiv der Zeit aufgreift. Was lässt sich über das Motiv der Zeit in dieser Sequenz sagen?
- ▶ Sie sollen den für ein Festival-Programm einem Dokumentarfilm-Genre zuordnen. Zur Auswahl stehen „Filmbiografie“, „Wissenschaftsfilm“ und „Filmmessay“. Welches Label würden Sie dem Film geben? Begründen und Diskutieren Sie ihre Entscheidung.



## Arbeitsmaterial E8 "Zwischen Himmel und Eis"

Nach der Filmbetrachtung

## Der Mensch im Eis – visuelle Inszenierung



**Caspar David Friedrich: Der Wanderer über dem Nebelmeer (1818)**

Es ist eines der bekanntesten Gemälde des frühen 19. Jahrhunderts. Durch die Positionierung der Figur mit dem Rücken zum Betrachter entsteht der Eindruck eines „Dialogs“ zwischen dem Mann und der Natur. Die Berglandschaft erscheint weiträumig, grenzenlos und mysteriös. In der Romantik spielen Naturerlebnisse wie diese eine große Rolle; sie werden als erhebend empfunden und erlauben dem Menschen, für begrenzte Zeit die rationale Welt des Alltags zu überwinden. In der Natur erlebt der Mensch sich selbst als jemand anderes. Die Romantiker verstanden sich als Gegenbewegung zur rationalen Weltsicht der Aufklärung im 18. Jahrhundert.



### Aufgaben

- ▶ Betrachten Sie die beiden Bilder und schreiben Sie auf, was Ihnen dazu durch den Kopf geht. Tauschen Sie Ihre Notizen mit Ihrem Mitschüler/Ihrer Mitschülerin und kommentieren Sie gegenseitig Ihre Eindrücke („Chatten auf Papier“).
- ▶ Formulieren Sie aus Ihren Notizen einen Text zum Filmstill. Es kann ein innerer Monolog des Eisforschers sein oder ein anderer frei gestalteter Text. Stellen Sie sich vor, Sie würden das Bild in einer Ausstellung in Ihrer Schule zeigen und den Text zu dem Bild präsentieren.
- ▶ Lesen Sie den Text zum Bild von Caspar David Friedrich. Vergleichen Sie das dort beschriebene Verhältnis zwischen Mensch und Natur mit den Aussagen von Claude Lörus über seine eigenen Naturerfahrungen. Wo gibt es Übereinstimmungen, wo Unterschiede?

## Impressum

### Herausgeber:

**Vision Kino gGmbH**

**Netzwerk für Film- und Medienkompetenz**

Sarah Duve (V.i.S.d.P.)  
Große Präsidentenstraße 9  
10178 Berlin

Tel.: 030-27577 571  
Fax: 030-27577 570  
info@visionkino.de  
www.visionkino.de

VISION KINO –  
Netzwerk für Film- und Medienkompetenz  
präsentiert im Rahmen der bundesweiten SchulKinoWochen  
das Filmprogramm zum Wissenschaftsjahr 2016\*17 – Meere und Ozeane

### Konzept und Redaktion:

Burkhard Wetekam

### Autoren/in:

Burkhard Wetekam

Dr. Maria Hörhold/Dr. Johannes Freitag (Alfred-Wegener-Institut – Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung): Hintergrundwissen I: Gletscher und Eisschilde, Hintergrundwissen II: Eiskerne und Klimageschichte – was ist ein Klimaarchiv?  
Dr. Johannes Freitag/Dr. Sepp Kipfstuhl (Alfred-Wegener-Institut – Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung): Eine Antarktis Expedition im Jahr 2013

### Interviewpartner/in:

Prof. Dr. Frank Wilhelms (Alfred-Wegener-Institut – Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung): Eiskerne sind das Klimaarchiv unseres Planeten  
Prof. Dr. Hans-Otto Pörtner (Alfred-Wegener-Institut – Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung): Der Klimawandel läuft  
Marie-Luise Beck (Geschäftsführerin Deutsches Klima Konsortium): Die Puzzle-Teile sind da – sie müssen aber noch zu einem Bild zusammengefügt werden

**Beratung:** Büro Wissenschaftskommunikation/Projektträger im DLR e.V.

**Gestaltung:** www.tack-design.de

### Bildnachweise:

Seiten 1, 3, 5 © WELTKINO FILMVERLEIH GMBH 2015; Seite 7 © shutterstock.de; Seite 13 © Alfred-Wegener-Institut/Lars Grübner; Seite 15 links © J.Hutsch, CC BY SA 3.0; Seite 15 rechts © Bruno de Giusti, CC BY SA 2.5; Seite 19: Quelle: Rhein, M., et al 2013: Observations: Ocean. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I, 5th. IPCC Report; Seite 20 © Kopiersperre, CC-BY-SA 3.0; Seite 21 links © Alexandra Markert (Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung, Forschungsinstitut Senckenberg am Meer Wilhelmshaven); Seite 21 rechts © Andreas Treppe (CC BY-SA 2.5); Seite 23 © Deutsches Klima Konsortium; Seite 25 © US-Department of State/gemeinfrei; Seite 26 © Freeimages; Seite 32 © Bundesumweltamt; Seite 33 © MEDEF/Flickr, CC BY-SA 2.0; Seite 34 © WELTKINO FILMVERLEIH GMBH; Seite 35-37 © shutterstock.de; Seite 38-40 © Alfred-Wegener-Institut / Johannes Freitag/Sepp Kipfstuhl; Seite 41 © Alfred-Wegener-Institut / F. Mehrstens; Seite 44 ©; Seite 45 © Centre for Ice and Climate/University of Copenhagen; Seite 46 links © Weltkino Filmverleih; Seite 46 rechts © Johannes Freitag/Sepp Kipfstuhl (AWI); Seite 48 © WELTKINO FILMVERLEIH GMBH; Seite 49 oben © gemeinfrei/Wikimedia; Seite 49 unten © WELTKINO FILMVERLEIH GMBH

© VISION KINO, Juli 2016

HERAUSGEGEBEN VON



IM RAHMEN DER



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

## Kontakt

### Kontakt SchulKinoWochen:

**Vision Kino gGmbH**

**Netzwerk für Film- und Medienkompetenz**

Große Präsidentenstraße 9  
10178 Berlin

Tel.: 030-27577 574  
Fax: 030-27577 570  
info@visionkino.de  
www.visionkino.de  
www.schulkinowochen.de

### Kontakt Wissenschaftsjahr 2016\*17 – Meere und Ozeane:

**Redaktionsbüro Wissenschaftsjahr 2016\*17 –  
Meere und Ozeane**

Gustav-Meyer-Allee 25  
13355 Berlin

Tel.: 030 81 87 77-173  
Fax: 030 81 87 77-125  
redaktionsbuero@wissenschaftsjahr.de  
www.wissenschaftsjahr.de/2016-17/