

# Perspektiven für die Klimaforschung 2015 bis 2025

Positionspapier





Auf Einladung des Deutschen Klima-Konsortiums (DKK) haben sich 2013 und 2014 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus allen führenden deutschen Klimaforschungsinstituten mit Expertinnen und Experten aus Politik und Gesellschaft zu einer Reihe von Workshops getroffen, um sich über die zukünftigen Perspektiven der Klimaforschung zu verständigen.

Das vorliegende Positionspapier beschreibt die drei Themenfelder, die in den Arbeitsgruppen bearbeitet wurden. Die weitere Erforschung des Klimasystems bildet das erste Themenfeld, denn trotz enormer Fortschritte gibt es immer noch erhebliche Wissenslücken. Das zweite Themenfeld betrifft den Umgang mit Klimarisiken. Diese Risiken, die durch die Folgen des Klimawandels entstehen, müssen genauer identifiziert, besser charakterisiert und – wo möglich – in Bezug auf Wahrscheinlichkeit und Schadensausmaß quantifiziert werden. Das dritte Themenfeld umfasst die unterschiedlichen Rollen der Klimaforschung in einer demokratischen Gesellschaft und ihre Möglichkeiten, sich an den zentralen Fragen einer gesellschaftlichen Transformation zu beteiligen.

Dem DKK und den beteiligten Wissenschaftlern und Experten ging es darum, innerhalb der genannten Themenfelder die wissenschaftlich zukunftssträchtigen und gesellschaftlich relevanten Fragen zu identifizieren. Mit dem vorliegenden Papier möchte das DKK den sich abzeichnenden Strukturwandel in der Klimaforschung mitgestalten und zu einer Reflexion innerhalb der Wissenschafts-Community, aber auch darüber hinaus, anregen.

# Inhalt

Präambel	7
<b>I Klima verstehen</b>	<b>12</b>
1. Bestimmung und Reduzierung von Unsicherheiten in Klimavorhersagen und Klimaprojektionen	13
2. Verlängerung der Wettervorhersage und Verbindung zur subsaisonalen Klimavorhersage	15
3. Abrupte Klimaänderungen	16
4. Wasserkreislauf in einer wärmeren Welt	17
5. Luftqualität und Klimawandel	18
6. Treibhausgas-Kreisläufe im Klimasystem	19
<b>II Umgang mit Klimarisiken</b>	<b>21</b>
1. Determinanten von Klimarisiken	22
2. Wie kann die Klima- und Klimafolgenforschung zu einem verantwortlichen Umgang mit Klimarisiken beitragen?	24
3. Mögliche Forschungsbereiche	26
Identifikation von Effekten des Klimawandels im globalen Wandel	26
Energiesicherheit und Klimawandel	26
Bewertung von extremen Wetterereignissen in der Atmosphäre, Hydrosphäre und an Küsten	27
Identifikation und Bewältigung von Zielkonflikten im Risikomanagement	27
Abschätzung der sozialen und wirtschaftlichen Folgen der Klimawandels	27

<b>III Klimaforschung in der demokratischen Gesellschaft</b>	28
1. Klimaforscherinnen und Klimaforscher als gesellschaftliche Akteure – der „Blick nach innen“	29
2. Strukturwandel in der Klimaforschung – die Breite des Klimathemas anerkennen	30
Grundlagenforschung in neuen Bereichen	30
Wachsende Bedeutung von Inter- und Transdisziplinarität	31
3. Wissensbasierte gesellschaftlich relevante Politikberatung – der „Blick nach außen“	32
Beratung im Bereich Klimaanpassung: Klimageservice	32
Politikanalyse (Policy Assessment)	32
Bestandsaufnahme der Beratungslandschaft	33
Anmerkungen	35
Verfasserinnen und Verfasser	37
Expertinnen und Experten	38
Kommentatoren	39
Über uns	40
Mitglieder des DKK	41



# Präambel

Der vom Menschen verursachte Klimawandel steht seit vielen Jahren im Blickpunkt der Weltöffentlichkeit, sind doch die Risiken einer ungebremsten Erderwärmung unabsehbar. Dass sich das Klima der Erde wandelt und die Menschen die Hauptverursacher sind, ist wissenschaftlich unstrittig und wird im Fünften Sachstandsbericht des Weltklimarats IPCC<sup>1</sup> erneut hervorgehoben.

Dass sich das Klima wandelt und die Menschen die Hauptverursacher sind, ist wissenschaftlich unstrittig.

Die Entdeckung des menschlichen Einflusses auf das Klima basiert auf jahrelanger intensiver Forschung und wird nach ausführlicher Diskussion innerhalb und außerhalb der Wissenschaft weitestgehend gesellschaftlich akzeptiert. Zu Forschung und Diskussion hat Deutschland in erheblichem Maße beigetragen.

Im vorliegenden Positionspapier zeigt das Deutsche Klima-Konsortium (DKK) Perspektiven auf, wie die erfolgreiche Arbeit der deutschen Klimaforschung in den kommenden zehn Jahren fortgeführt werden kann.

## Erfolge der Klimaforschung fortführen – handlungsrelevantes Wissen bereitstellen

Die deutsche Klimaforschung und Klimafolgenforschung ist exzellent aufgestellt. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler<sup>2</sup> aus Deutschland haben seit vielen Jahren in führender Rolle an den Berichten des IPCC mitgearbeitet. Sie sind aktiv in den einschlägigen internationalen Gremien wie WCRP, IGBP, Future Earth<sup>3</sup> und anderen. National konnte die Klimawissenschaft in der Exzellenzinitiative von Bund und Ländern drei Exzellenzcluster gewinnen und international maßgeblich an der Gestaltung und Durchführung von Forschungsprogrammen mitwirken. Die enge Kooperation von institutionellen und drittmittelgeförderten Aktivitäten und die Zusammenarbeit von Universitäten, Helmholtzzentren, Max-Planck- und Leibniz-Instituten sowie verschiedener Ressortforschungseinrichtungen hat sich bewährt. Auch in Zukunft wollen wir eine zentrale Rolle in der deutschen Wissenschaft spielen und eine Spitzenposition in der internationalen Klimaforschung und Klimafolgenforschung einnehmen.

Trotz der enormen Fortschritte gibt es noch immer erhebliche Wissenslücken bei wichtigen Prozessen im Klimasystem und seiner Reaktion auf menschliche Eingriffe. Das betrifft insbesondere regionale und lokale Auswirkungen, die ganz unterschiedlich sein können. Ein Beispiel ist der Meeresspiegelanstieg, der sich während der letzten Jahrzehnte an den verschiedenen Küsten sehr unterschiedlich entwickelt hat und entwickeln wird. Für die Klimawissenschaft steht die Erforschung des Klimasystems deshalb weiterhin an zentraler Stelle.

Trotz der enormen Fortschritte, gibt es noch immer erhebliche Wissenslücken.

Daneben stellt sich aber auch zunehmend die Frage, ob und wie Klimaforschung in der Lage ist, handlungsrelevantes Wissen bereitzustellen und Antworten auf die Fragen aus Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft zu geben. Erforscht die Wissenschaft Fragen, die die Gesellschaft bewegen? Und stellt sie auch diejenigen Fragen, die die Gesellschaft sich stellen sollte? Gibt die Wissenschaft Antworten, die in der nicht-wissenschaftlichen Welt gehört werden? Kann sich die Wissenschaft an der Debatte um die zentralen Fragen einer gesellschaftlichen Transformation aktiv beteiligen, ohne sich dabei dem Vorwurf der Aufgabe der wissenschaftlichen Integrität auszusetzen?

## Herausforderung Klimawandel

Der Klimawandel ist kaum mit unseren üblichen Wahrnehmungsmustern erfassbar und wird von Politik und Gesellschaft oft unterschätzt.

Klimaveränderungen sind komplex, können sich über lange Zeiträume erstrecken und einige Regionen sehr viel stärker belasten als andere. Sie können mit anderen problematischen gesellschaftlichen Entwicklungen, wie zum Beispiel der Landnutzung, in Wechselwirkung treten und möglicherweise erst in einigen Jahrzehnten, zum Teil erst in Jahrhunderten, drastische Auswirkungen haben. Der Klimawandel ist in dieser Komplexität kaum mit unseren üblichen Wahrnehmungsmustern erfassbar und wird, wie andere systemische Risiken auch, von Politik und Gesellschaft oft unterschätzt.

Der Umgang mit dem Klimawandel fordert die Wissenschaft dreifach heraus:

1. Obwohl das Klimasystem in seinen grundlegenden Prinzipien heute wissenschaftlich verstanden ist, erweisen sich im Detail Verständnisprobleme. So sind auf Klimamodellen basierende Projektionen<sup>4</sup> des Klimasystems noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Ziel muss es sein, diese Unsicherheiten zu verkleinern oder zumindest die Unsicherheitsspielräume besser zu charakterisieren, denn ganz auflösen lassen sie sich nicht.
2. Zum zweiten sind Klimafolgen – das sind die Auswirkungen von Klimaänderungen auf Natur und Gesellschaft – bisher nur schwer abschätzbar. Das betrifft zum einen die Auswirkungen des Klimawandels selbst, zum anderen wissen wir nicht, auf welche Gesellschaften die Änderungen treffen und welche zivilisatorischen Folgen sie tatsächlich verursachen werden. Denn parallel zum Klimawandel ereignet sich ein permanenter politischer, wirtschaftlicher, technologischer und sozialer Wandel.
3. Schließlich geht es um die Frage, welche Rolle Klimaforschung bei der Bewältigung des Klimawandels in einer demokratisch verfassten Gesellschaft spielen kann und spielen sollte. Das betrifft Fragen des Selbstverständnisses der Klimaforschung, neuer sozialwissenschaftlicher Forschungsbereiche, inter- und transdisziplinärer Forschungsformate und Fragen der wissenschaftsbasierten Politikberatung.

## Drei zentrale Themenfelder für gesellschaftsrelevante Forschung

Vor diesen Herausforderungen identifiziert das Deutsche Klima-Konsortium drei zentrale Themenfelder, die für die kommenden zehn Jahre relevant sein werden:

- 1) die notwendige Vertiefung des Systemverständnisses zum Klimageschehen,
- 2) die Bewertung und den Umgang mit Klimarisiken sowie
- 3) die Rollen der Klimaforschung in der demokratischen Gesellschaft.

Diese Dreiteilung geht zurück auf die Arbeit in einer Reihe von Workshops, die das DKK zusammen mit weiteren Experten, u. a. aus allen führenden deutschen Klimaforschungsinstituten, 2013 und 2014 in Potsdam abgehalten hat. Wir erheben nicht den Anspruch auf eine alles umfassende Agenda, wohl aber darauf, innerhalb der genannten Felder die entscheidenden Fragen identifiziert und konkretisiert zu haben.

**I „Klima verstehen“** widmet sich mit dem Themenvorschlag „Reduzierung von Unsicherheiten in Klimaprojektionen“ der Verringerung von Fehlern in den Klimamodellen und der Verbesserung des Prozessverständnisses. Denn modellbasierte Projektionen, die wesentlich zur Abschätzung von Klimafolgen beitragen, können nur so gut sein, wie das wissenschaftliche Systemverständnis reicht. Um hier voranzukommen, brauchen wir weiterhin eine gemeinsame Auswertung von Daten und eine Weiterentwicklung von Beobachtungsmethoden und Modellen. Ziel ist es, die Klimaveränderungen global genauer bestimmen zu können und – besonders herausfordernd – das Herunterbrechen der Modelle, das sogenannte Downscaling, auf die Regionen genauer durchzuführen. Beispielsweise könnte man dadurch Aussagen zur zukünftigen Entwicklung der Häufigkeit und Intensität von tropischen Wirbelstürmen treffen. Strategien der Klimaanpassung, die sich überwiegend auf lokale und regionale Gegebenheiten beziehen, benötigen diese kleinräumigen Klimainformationen. Mittelfristig wäre deshalb eine nationale Modellierungsstrategie nützlich. Fünf weitere Themenvorschläge betreffen: das Verständnis abrupter Klimaänderungen, den veränderten Wasserkreislauf in einer wärmeren Welt, den Zusammenhang von Luftqualität und Klimawandel und die biogeochemischen Kreisläufe und deren Wechselwirkungen mit dem physikalischen Klimasystem. Schließlich geht es auch um die Verlängerung der Wettervorhersage zur Klimavorhersage auf einer Zeitskala von bis zu zwei oder drei Monaten mit dem langfristigen Ziel, ein nahtloses Vorhersagesystem zu entwickeln. Dies würde einer vorausschauenden Planung für die Verfügbarkeit von Nahrung, Wasser, und Energie sowie den Umgang mit Extremwetterereignissen dienen.

Ein nahtloses Vorhersagesystem würde einer vorausschauenden Planung dienen.

Bisher fehlt ein auf den besten klimawissenschaftlichen Informationen beruhendes Risikomanagement.

**II „Umgang mit Klimarisiken“** konzentriert sich auf die Frage nach der Bewertung und dem Umgang mit heutigen und zukünftigen Klimafolgen. Klimafolgen sind potenzielle Klimarisiken, über deren Wahrscheinlichkeit und Schadensausmaß wir nur wenig wissen. In diesem komplexen Feld sollte aber zukünftig durch integrative Forschung<sup>5</sup> besseres Wissen über Wahrscheinlichkeit, Verteilung und Schadenspotenzial von Klimarisiken erarbeitet werden. Denn Politik, Wirtschaft und Gesellschaft benötigen hinreichend gesichertes Wissen, um sich an den nicht mehr vermeidbaren Klimawandel anzupassen und gleichzeitig durch tiefgreifende gesellschaftliche und wirtschaftliche Veränderungen – Stichwort Low-Carbon-Society – den Klimawandel zu begrenzen. Wie immer die Entscheidungen für Maßnahmen zur Vermeidung (Klimaschutz) und zur Anpassung an den Klimawandel<sup>6</sup> ausfallen mögen, sie werden für einen Teil der Gesellschaft mit Vorteilen und wirtschaftlichen Chancen, für andere Gruppen aber auch mit Nachteilen sowie mit gesamtgesellschaftlichen Kosten verbunden sein. Um derartige Entscheidungen angemessen treffen zu können, fehlt bisher ein auf den besten klimawissenschaftlichen Informationen beruhendes Risikomanagement. Es würde die Kosten des Klimaschutzes und der Anpassung verringern. Da, wo die Bestimmung von Wahrscheinlichkeiten und Schadensausmass auch bei intensiver Forschung, unsicher bleibt, stößt die Quantifizierung von Klimarisiken allerdings an ihre Grenzen. Aufgabe der Forschung ist es, diese Grenzen besser zu bestimmen und möglicherweise auf das im Umweltbereich anerkannte Vorsorgeprinzip auszuweichen, das auch dann Handlungen empfiehlt, wenn die Risiken (noch) nicht hinreichend bestimmt sind.

Es ergeben sich neue Forschungsfragen, die bei der Gesellschaft und der Eigenlogik demokratischer Prozesse ansetzen.

**III „Klimaforschung in der demokratischen Gesellschaft“** befasst sich zum einen mit dem Selbstverständnis der Klimaforschung und zum anderen mit dem steigenden Bedarf an Lösungsoptionen. Dabei ist die Klimapolitik eingebettet in viele andere Bereiche und muss als nur eine, wenn auch wichtige, Komponente des Gesamtsystems gesehen werden. Klimaforscherinnen und Klimaforscher sind somit aufgefordert, an der Lösung drängender Zukunftsfragen mitzuwirken, ohne jedoch ihre wissenschaftliche Integrität zu gefährden. Hieraus ergeben sich neue Aufgaben für die sozialwissenschaftliche Grundlagenforschung, Anforderungen an eine Begleitforschung der derzeitigen transdisziplinären Forschungsformate und schließlich eine systematische Weiterentwicklung der Politikberatung. Im Einzelnen: Erstens richtet sich der Blick „nach innen“ und reflektiert die Rolle der Klimaforscherinnen und -forscher im Kontext des gesellschaftlichen Umgangs mit dem Klimawandel. Zweitens wird gezeigt, dass das Spektrum an Themen und wissenschaftlichen Disziplinen breiter geworden ist und sich die Klimaforschung in einem Strukturwandel befindet. Gesellschaftswissenschaften gewinnen an Bedeutung und es werden sowohl Grundlagenforschung als auch neue inter- und transdisziplinäre Ansätze erforderlich. Daraus ergeben sich neue Forschungsfragen, die bei der Gesellschaft und der Eigenlogik demokratischer Prozesse und nicht beim Klimawandel ansetzen und Anknüpfungspunkte für ein sozialwissenschaftlich unterfüttertes Klimaforschungsprogramm bieten. Der dritte Teil fragt nach dem Informationsbedarf in Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Öffentlichkeit und angemessenen, praktizierbaren Beratungsformaten. Was beispielsweise bisher fehlt, ist eine systematische Bestandsaufnahme schon bestehender Beratungsangebote.

Mit dem vorliegenden Papier möchten wir den sich abzeichnenden Strukturwandel in der Klimaforschung mitgestalten und eine fundierte Reflexion über zukünftige Herausforderungen anregen.

Zum einen zeigen wir auf, wo Klimaforschung das Potenzial hat, gesellschaftlich relevante Zukunftsfragen zu klären. Zum zweiten richten wir uns an die verantwortlichen Behörden und Institutionen auf der Ebene des Bundes und der Länder. Schließlich möchten wir als Deutsches Klima-Konsortium mit den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in den universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen über die zukünftig relevanten Fragestellungen ins Gespräch kommen und die Möglichkeiten gemeinsamer Problembearbeitungen ausloten.

Für das Selbstverständnis des DKK ist ebenso wichtig, dass wir die interessierte Öffentlichkeit für die Aufgaben und die Möglichkeiten der Klimaforschung sensibilisieren. Gerade weil komplexe Lösungen gefordert sind, die nicht allein von der Wissenschaft gefunden werden können, und gerade weil es zukünftig auch um Wertentscheidungen geht, denen sich die Wissenschaft als ein Akteur unter vielen in einer demokratischen Gesellschaft stellen muss, wird es in Zukunft mehr und mehr auf Dialoge mit Bürgerinnen und Bürgern und auf gemeinsame Problembearbeitung ankommen.

Die Herausforderung, unser Klima auf der Erde zu verstehen und akzeptierte und legitimierte Lösungen für den Umgang mit dem Klimawandel zu finden, ist so groß, dass wir diese Aufgaben nur gemeinsam – Wissenschaft und Gesellschaft, Nationalstaaten wie internationale Gemeinschaft – sinnvoll bewältigen können.

#### **Das Redaktionsteam**

**Marie-Luise Beck, Silke Beck, Paul Becker, Anita Engels, Gernot Klepper,  
Jochem Marotzke, Mojib Latif, Monika Rhein, Hans von Storch**

## I Klima verstehen

In den vergangenen Jahrzehnten hat die deutsche Klimaforschung wesentlich zum Verständnis des Klimasystems beigetragen und ihre Ergebnisse der internationalen Gemeinschaft zur Verfügung gestellt. So haben deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in führender Rolle an den Berichten des Weltklimarats, dem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), mitgearbeitet, die das Wissen über den Klimawandel in Abständen von einigen Jahren zusammenfassen und bewerten. Weiterhin haben sie maßgeblich internationale Forschungsprogramme mitgestaltet und konnten national drei Exzellenzcluster in der Klimaforschung ansiedeln.

Die Wissenslücken beziehen sich auf das Verständnis einzelner Prozesse wie auch auf die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Klimasystemkomponenten.

Obwohl das Klimasystem in seinen grundlegenden Prinzipien heute wissenschaftlich verstanden ist, bleiben erhebliche Lücken in unserem Verständnis des Klimasystems. Diese beziehen sich sowohl auf das Verständnis einzelner Prozesse wie auch auf die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Klimasystemkomponenten<sup>7</sup>. So ist die Dynamik und Vorhersagbarkeit natürlicher Klimaschwankungen auf einem breiten Spektrum von Zeitskalen, von einigen Wochen bis hin zu Jahrzehnten und länger, nicht abschließend geklärt. Das gilt auch für das weite Feld der abrupten Klimaänderungen und für Klimaextreme. Große Wissenslücken existieren ebenso bezüglich der biogeochemischen Kreisläufe und deren Wechselwirkung mit dem physikalischen Klimasystem.

Im Folgenden werden sechs Bereiche skizziert, in denen die deutsche Klimaforschung in den kommenden Jahren aufgrund ihrer Forschungskompetenz wichtige Durchbrüche erzielen kann. Dabei handelt es sich sowohl um Fragen, die schon länger im Fokus der nationalen Klimaforschung stehen und auch in Zukunft stehen werden als auch um neue Themen. Die sechs Vorschläge sind eng in die einschlägigen internationalen Programme eingebettet.

Grundsätzlich sollten für alle genannten Forschungsaktivitäten die Beobachtungssysteme und die Erdsystemmodelle weiterentwickelt und verfeinert oder ganz neue Ansätze erprobt werden.

Die Stärken der deutschen Klimaforschung bestehen in der engen Kooperation von institutionellen und drittmittelgeförderten Aktivitäten, der engen Kooperation von Universitäten, Helmholtzzentren, Max-Planck- und Leibniz-Instituten sowie verschiedener Ressortforschungseinrichtungen, und darüber hinaus in der erfolgreichen Zusammenarbeit zwischen theoretisch ausgerichteten, beobachtenden und modellierenden Gruppen. Diese bewährte und gut etablierte Strategie soll auch zukünftig weitergeführt werden.

## 1. Bestimmung und Reduzierung von Unsicherheiten in Klimavorhersagen und Klimaprojektionen

Unsicherheiten in den Projektionen des zukünftigen Klimas sind auf drei Faktoren zurückzuführen:

1. Modellfehler
2. interne Variabilität des Klimas und
3. Unkenntnis des zukünftigen Ausstoßes von Treibhausgasen wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und anderer klimawirksamer Substanzen.

Grundsätzlich sollten die Modelle eine möglichst große Zahl von Tests bestehen, um ihre Vertrauenswürdigkeit zu erhöhen. Dabei spielen u. a. Simulationen des vergangenen Klimas eine wichtige Rolle. Inwieweit man Projektionen des künftigen Klimas allerdings durch eine realistischere Simulation des vergangenen Klimas verbessern kann, ist besonders für die langfristigen Projektionen bis zum Ende des Jahrhunderts oder gar Jahrtausends immer noch unklar. Dennoch ist ein detaillierter Vergleich von simulierten Prozessen in den verschiedenen Klimasystemkomponenten mit Beobachtungen, Rekonstruktionen und experimentellen Ergebnissen zur Erhöhung der Simulationsgüte sowie des Prozessverständnisses unerlässlich. Das erfordert insbesondere die Fortführung und, wo notwendig, eine Erweiterung des Klimabeobachtungssystems.

Die Reduktion systematischer Modellfehler ist ein Querschnittsthema und erfordert eine übergreifende Strategie. Auch auf absehbare Zeit wird weiterhin das Konzept der Verwendung eines Spektrums von Modellen Anwendung finden, d. h. die unterschiedlichen Fragestellungen erfordern problemangepasste Auflösungen und Modelle wie etwa bei Fragen der Regionalisierung. Grundsätzlich ist eine höhere räumliche Modellauflösung erstrebenswert. Dadurch wird ein größerer Bereich der Simulationen aus dem parametrisierten<sup>8</sup> in das explizit dargestellte Regime verlagert, wodurch sich die Güte der Simulationen oft (wenn auch nicht automatisch) steigern lässt. Dies betrifft insbesondere den für das europäische Klima so wichtigen Bereich der Ozean-Atmosphäre-Meereis-Wechselwirkungen.

Daneben stellt die dynamische Einbindung weiterer Komponenten des Erdsystems, insbesondere der Kryosphäre<sup>9</sup> und Biosphäre<sup>10</sup>, bei zunehmender Modellauflösung immer noch eine große Herausforderung dar. Hochaufgelöste globale Klimasimulationen im Bereich von wenigen zehn Kilometern sind bislang in Deutschland nicht umfassend und strategisch angegangen worden. Es existieren bisher kaum Pilotstudien und keines dieser Projekte ist technisch auf die kommenden Generationen von Höchstleistungsrechnern vorbereitet. Die Anforderungen an die IT-Infrastruktur werden steigen. Beispielweise bedeutet eine Halbierung des Gitterpunktabstandes etwa eine Verzehnfachung der benötigten Supercomputer-Kapazität.

Hochaufgelöste globale Klimasimulationen im Bereich von wenigen zehn Kilometern sind bislang in Deutschland nicht umfassend und strategisch angegangen worden.

Mittelfristig ist eine nationale Modellierungsstrategie notwendig, die systematisch die höchstmögliche räumliche Auflösung für Klimaprojektionen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts anstrebt. In diesem Zusammenhang geht es auch um eine Optimierung und Anpassung der Modellcodes an die sich schnell ändernden Rechnerarchitekturen. Für qualitative Fortschritte wird darüber hinaus ein besseres Prozessverständnis benötigt, was eine enge Kooperation der theoretisch ausgerichteten und modellierenden mit den messenden Forschungsgruppen erfordert (siehe Abschnitte 4, 5 und 6 in diesem Kapitel).

Dabei ist die Klimavorhersagbarkeit grundsätzlich begrenzt und es bleibt Aufgabe der Klimaforschung, diese Grenzen besser zu bestimmen.

Dabei ist die Klimavorhersagbarkeit grundsätzlich begrenzt und es bleibt Aufgabe der Klimaforschung, diese Grenzen besser zu bestimmen. Einer der Gründe für die Begrenzung liegt in der internen Klimavariabilität. Sie entsteht aus der chaotischen Dynamik des Klimas und überlagert zusammen mit den durch die externen natürlichen Antriebe (z. B. Sonne und Vulkane<sup>11</sup>) verursachten Schwankungen die anthropogenen Klimaänderungen. Hier spielen insbesondere Prozesse im Ozean eine wichtige Rolle. So verursachen Änderungen der Meeresströmungen regionale Unterschiede im Anstieg des Meeresspiegels, die den globalen Anstieg überlagern können. Ein wichtiges und notwendiges Element zum Verständnis und der Vorhersage der internen Variabilität ist deswegen ein globales Ozeanbeobachtungssystem. Aber auch Prozesse in der Kryosphäre und auf Land spielen für die interne Variabilität eine wichtige Rolle. Deutschland hat im Bereich der Klimavariabilität bisher signifikante Beiträge geliefert und eine Kontinuität dieser Aktivitäten sowie die Entwicklung innovativer Messmethoden sind angezeigt. Die Berücksichtigung der internen Variabilität erfordert geeignete Methoden zur Initialisierung der Klimamodelle wie auch Ensemble-Simulationen, d. h. mehrere Simulationen (Realisationen) mit gleichem Antrieb, aber verschiedenen Anfangszuständen. Dabei besteht eine besondere Herausforderung darin, dass zur Modellevaluation nur eine beobachtete Realisierung existiert (siehe auch Abschnitt 2).

Und schließlich besitzen Wissenschaftler in Deutschland große Erfahrung in der Entwicklung von Treibhausgasbudgets und -szenarien (siehe Abschnitt 6). So werden sich natürliche Quellen und Senken<sup>12</sup> von Treibhausgasen infolge von Klimaänderungen mit der Zeit ändern, was sich wiederum auf die Entwicklung des Klimas auswirkt. Sowohl das Prozessverständnis als auch die Modellierung bezogen auf die Biogeochemie bedürfen intensiver Forschung.

## 2. Verlängerung der Wettervorhersage und Verbindung zur subsaisonalen Klimavorhersage

Nach den bahnbrechenden Arbeiten von Edward Lorenz in den 1960er Jahren über das chaotische Verhalten der Atmosphäre ist man lange Zeit davon ausgegangen, dass nützliche Wettervorhersagen von mehr als zwei Wochen in die Zukunft unmöglich seien.

In den 1980er Jahren hat sich dann gezeigt, dass das Klimasystem auf saisonalen Zeitskalen von einigen Monaten durchaus Vorhersagbarkeit ermöglicht. Ein Beispiel ist das El Niño/Southern Oscillation Phänomen (ENSO)<sup>13</sup> im tropischen Pazifik mit seinen weltweiten Auswirkungen. Hier hat die deutsche Forschung wichtige Beiträge geliefert.

Allerdings fehlten lange Zeit belastbare Vorhersagen für den subsaisonalen Bereich, der zwischen der klassischen Wettervorhersage und der jahreszeitlichen Klimavorhersage liegt. Seit einigen Jahren existieren die ersten operationellen subsaisonalen Vorhersagesysteme, die selbst in den Extratropen teilweise überraschend gute Ergebnisse zeigen. Im Gegensatz zu den überwiegend von den Bedingungen der Ozeane und des Meereises abhängigen jahreszeitlichen Vorhersagen spielt für den subsaisonalen Vorhersagebereich von etwa 14 bis 60 Tagen der aktuelle Zustand sämtlicher Antriebe der Atmosphäre – also etwa auch Landparameter wie die Verteilung der Schnee- und Eisbedeckung – eine entscheidende Rolle. Hier kommt es daher neben der Simulationsgüte auch auf die möglichst exakte Kenntnis der äußeren Randbedingungen sowie deren Repräsentation in den Modellen an. Das erfordert u. a. geeignete Messungen etwa von Landparametern wie der Bodenfeuchte.

Subsaisonale Vorhersagen liefern bedeutende Beiträge zum Prozessverständnis und spielen insbesondere als Teil einer Vorhersagekette für den Endnutzer eine ganz entscheidende Rolle, etwa für eine vorausschauende Planung von Nahrungs-, Wasser- und Energieverfügbarkeit sowie den Umgang mit wetterbedingten Extremereignissen.

Subsaisonale Vorhersagen liefern bedeutende Beiträge für den Endnutzer und eine vorausschauende Planung.

Die Forschung im Bereich der subsaisonalen Vorhersagen ist mittlerweile in das Zentrum internationaler Programme gerückt. So haben beispielsweise das World Weather Research Programme (WWRP) gemeinsam mit dem World Climate Research Programme (WCRP) das Subseasonal to Seasonal (S2S) Prediction Project ins Leben gerufen. Dieses Projekt stellt einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung von wirklich nahtlosen Vorhersagesystemen dar.

Der Erfolg von subsaisonalen Vorhersagen wird letztlich von der besseren Darstellung atmosphärischer Phänomene wie Oszillationen in den Tropen mit Perioden im Bereich von ein bis zwei Monaten, der Kopplung mit der Land-Ozean-Kryosphäre wie auch der Einbeziehung von stratosphärischen Prozessen in den Vorhersagemodellen abhängen. Insgesamt weiß man allerdings zur Zeit noch recht wenig darüber, unter welchen Bedingungen auf diesen Zeitskalen von einigen Wochen mit einer guten Vorhersagegüte zu rechnen ist. Hier setzt eine der wesentlichen Forschungsaufgaben an.

### 3. Abrupte Klimaänderungen

Abrupte Klimaänderungen stellen sowohl die Ökosysteme wie auch die menschliche Gesellschaft vor besondere Herausforderungen.

Rekonstruktionen des vergangenen Klimas zeigen eine Vielfalt von abrupten Klimaänderungen. So wies insbesondere das Klima während der letzten Eiszeit eine erhebliche Schwankungsbreite mit schnellen Klimawechseln innerhalb weniger Jahrzehnte auf. Diese Änderungen hat man oftmals mit raschen Reorganisationen der Ozeanzirkulation in Verbindung gebracht. Allerdings sind ihre Ursachen noch nicht abschließend geklärt. Ein weiteres Beispiel sind die extrem schnellen Meeresspiegelanstiege (melt water pulses) – mit Anstiegen von mehreren Metern pro Jahrhundert – während des Übergangs von der letzten Eiszeit in die gegenwärtige Warmzeit. Starke Vulkanausbrüche haben auch in der jüngeren Vergangenheit immer wieder zu Klimaextremen geführt und in der Folge auch zu gesellschaftlichen Verwerfungen. Die explosiven Vulkaneruptionen sind zwar nicht unbedingt vorhersagbar, ihre Folgen jedoch prinzipiell berechenbar.

Die wesentlichen Forschungsfragen drehen sich um die Identifizierung und das genauere Verständnis der Dynamik solcher Kippelemente sowie der Klimafolgen und des Risikos, kritische Schwellen zu überschreiten.

Sind abrupte Klimaänderungen infolge des anthropogenen Klimawandels zu erwarten? Eine Reihe von großräumigen Teilkomponenten des Klimasystems könnte theoretischen Überlegungen zufolge durch den menschlichen Einfluss „kippen“ – ein Beispiel wäre das unwiderrufliche Abschmelzen des grönländischen Eisschildes mit einem Meeresspiegelanstieg von sieben Metern im weltweiten Durchschnitt. Oder sie könnten ein stark nichtlineares Verhalten zeigen – wie zum Beispiel häufigere Störungen des Indischen Monsuns. Wo aber liegen die kritischen Schwellen, ab deren Überschreitung unumkehrbare (irreversible) Prozesse oder Regimewechsel eintreten könnten? Die wesentlichen zukünftigen Forschungsfragen drehen sich um die Identifizierung und das genauere Verständnis der Dynamik solcher Kippelemente sowie der Klimafolgen und des Risikos, kritische Schwellen infolge des anthropogenen Klimawandels zu überschreiten (siehe hierzu auch Kap. II „Umgang mit Klimarisiken“).

In diesem Zusammenhang spielen Klimainformationen aus der Vergangenheit sowohl aus marinen als auch zeitlich höchstauflösenden terrestrischen Archiven eine wichtige Rolle.

Zu den wichtigsten Forschungsgegenständen gehören:

- Eisschildinstabilitäten mit der Folge schneller Meeresspiegelanstiege,
- mögliche Instabilitäten der Ozeanzirkulation (z. B. ein Kollaps der Atlantikzirkulation) oder auch der atmosphärischen Zirkulation (Regimewechsel),
- die Stabilität von Wald- und Savannenökosystemen und Korallenriffen,
- die Freisetzung von Treibhausgasen durch das Auftauen von Permafrost auf Land,
- die Freisetzung mariner Methanhydrate (sog. gefrorenes Methan),
- eine übermäßige Versauerung der Weltmeere infolge der ozeanischen Aufnahme von anthropogenem CO<sub>2</sub> mit unabsehbaren Folgen für die Meeresökosysteme<sup>14</sup>.

Die Methoden umfassen die Modellierung, instrumentelle Messungen und die Gewinnung von Proxydaten<sup>15</sup>. Es kommt u. a. auf die kontinuierliche Verbesserung der relevanten Modelle der Erdsystemkomponenten an (Atmosphäre, Ozean, Eis, Land, Ökosysteme, Stoffkreisläufe). Notwendig ist dabei die Verbesserung der expliziten Darstellung bzw. Parametrisierung von Schlüsselprozessen. Um beispielsweise schnelle Meeresspiegelanstiege simulieren zu können, muss in der Inlandeismodellierung die Dynamik der Übergangslinie vom Inlandeis in das schwimmende Schelfeis, die subglaziale Hydrologie, die Wechselwirkung von Ozean und Schelfeis und die mathematisch-numerische Formulierung der Interaktion der unterschiedlichen Skalen integriert werden. Und schließlich stellt sich die Frage, wie Ökosysteme auf multiple Stressfaktoren reagieren und wie sie mit dem Klima wechselwirken.

#### 4. Wasserkreislauf in einer wärmeren Welt

Der Wasserkreislauf ist eine der wichtigsten Komponenten des Klimasystems, bestimmt er doch u.a. die Verteilung der Wolken und der Niederschläge auf der Erde.

Es ist sicher, dass sich der anthropogene Klimawandel bereits heute auf den Wasserkreislauf auswirkt und dass dieser Einfluss zunehmen wird. In der Atmosphäre kommt Wasser in allen drei Phasen vor: als Wasserdampf, Flüssigwasser und Eis. Der Wasserdampf ist ein wichtiges Treibhausgas und trägt zu fast zwei Dritteln zum natürlichen Treibhauseffekt bei. Jede Erwärmung durch Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) oder andere Treibhausgase führt zwangsläufig zu mehr Wasserdampf in der Atmosphäre und verstärkt dadurch den anthropogenen Treibhauseffekt. Eine wichtige Frage in diesem Zusammenhang ist die nach der Änderung von Wetterextremen wie Starkniederschlägen und Dürren. Die verfügbaren Messreihen sind noch zu kurz, um den Zusammenhang mit den globalen Temperaturänderungen im Detail zu verstehen. Hier bieten terrestrische Klimaarchive einzigartige Möglichkeiten, Hochwasserereignisse mit jahreszeitlicher Auflösung über Jahrtausende zu rekonstruieren.

Eine wichtige Frage ist die nach der Änderung von Wetterextremen wie Starkniederschlägen und Dürren.

Wasser wird in der Atmosphäre nicht nur gespeichert und transportiert, sondern es wirkt auch durch seine besonders starke Absorption von Infrarot-Strahlung und durch Phasenumwandlungen zentral auf den Energiehaushalt der Erde ein. Dadurch bestimmt es in entscheidendem Maße die Stärke und Muster der atmosphärischen Zirkulation und damit zusammenhängend die zu erwartenden Klimaänderungen insbesondere auf der regionalen Skala.

Trotz der Bedeutung des Wasserkreislaufs für das Wettergeschehen, das regionale Klima, die Extremereignisse, die Luftqualität und die biologischen Aktivitäten besteht noch immer ein erheblicher Mangel an Wissen über die Rolle des Wassers im Klimasystem. Auch die Klimasensitivität<sup>16</sup> hängt ganz entscheidend von dem Verständnis des Wasserkreislaufs und seinen fundamentalen Rückkopplungen ab. Dabei spielen Wolkenprozesse und die Wechselwirkung mit Aerosolen eine wesentliche Rolle.

Darüber hinaus fehlt es auch an Kenntnis der Wasserdampfvariabilität im Grenzbereich zur Stratosphäre (Tropopause) und der Eigenschaften der Eiskristalle in der oberen Atmosphäre, als auch der Niederschläge und der Verdunstung über dem Ozean.

Um den Austausch von Wasser zwischen Boden, Vegetation und Atmosphäre besser verstehen und modellieren zu können, bedarf es einer angemessenen Darstellung seiner Rolle in Böden und Pflanzen. Aufgrund der zu berücksichtigenden Skalen – von der Porengrößenverteilung der Böden bis zu globalen Landnutzungsänderungen – ist dies eine große Herausforderung für die Klimamodellierung. Hier kommt einer engeren Verzahnung von Wettervorhersage- und Klimamodellen sowie einer Verbesserung der Datenbasis eine wichtige Bedeutung zu.

Die Entwicklung von Forschungsinfrastrukturen, Mess- und Beobachtungstechnologien muss sich auf die genannten Schlüsselprozesse fokussieren.

Wasser beeinflusst nahezu jeden Aspekt des Klimas. Um den Wasserkreislauf und zukünftige Veränderungen besser zu verstehen, muss sich die Entwicklung von Forschungsinfrastrukturen, Mess- und Beobachtungstechnologien auf die obengenannten Schlüsselprozesse fokussieren. Dabei gilt es vor allem, Beobachtungen und Modelle zu verbinden, gemeinsames Rüstzeug für die optimale Ausnutzung vorhandener und zukünftiger Beobachtungen (Standardisierung, Homogenisierung) zu entwickeln und die oft separierten Untersuchungen bzgl. Wasserdampf, Wolken und Niederschlag zu integrieren. Das beinhaltet auch die Kombination von in situ<sup>17</sup> und Fernerkundungsmessungen im Rahmen der Entwicklung einer globalen Beobachtungsstrategie. Großes Potential, neue Technologien schnell einsetzen zu können, haben bodengebundene Netzwerke mit Fernerkundungssensoren (z. B. Wasserdampflidar, Mikrowellenradiometer, Radar). Bei der Entwicklung dieser komplexen Instrumente spielen deutsche Firmen eine führende Rolle. Schließlich müssen Satellitenmissionen maßgeblich an einer verbesserten Messung der Schlüsselparameter (z. B. Niederschlag) arbeiten.

## 5. Luftqualität und Klimawandel

Luftqualität und Klimawandel sind eng miteinander verknüpft. Viele Luftschadstoffe, wie bestimmte Spurengase und Aerosole, sind gleichzeitig klimarelevant, weil sie direkt oder indirekt auf den Strahlungshaushalt der Atmosphäre wirken.

Umgekehrt beeinflusst der Klimawandel etwa durch Änderung von Lufttemperatur und Niederschlag auch die Luftqualität. Zudem werden regionale Wetterlagen beeinflusst, diese wiederum wirken auf Schadstofftransporte und atmosphärische Prozesse ein, wie z. B. auf chemische Reaktionen oder die Entfernung von Luftschadstoffen. Die Chemie-Klima-Wechselwirkungen können sich gegenseitig verstärken, wenn z. B. durch die Erwärmung mehr biogene Kohlenwasserstoffemissionen entstehen. Oder sie wirken gegeneinander, indem der vermehrte Ausstoß von Schwefeldioxid zu einer Abkühlung der Atmosphäre führt. Gerade bei einer regionalen Betrachtung zeigen sich viele Zusammenhänge zwischen Luftqualität und Klima, die bei einer globalen Mittelung oftmals untergehen. So besitzt die Aerosol-Wolken-Wechselwirkung einen erkennbaren Einfluss entlang von Schiffsrouten, in Form von Kondensstreifen oder sog. Pyrocumuli (Feuerwolken).

Obwohl die Forschung der letzten Jahre ein grundlegendes Verständnis vieler Chemie-Klima-Wechselwirkungen erreicht hat, ist die Quantifizierung und Vorhersage dieser Effekte nach wie vor mit sehr großen Unsicherheiten verbunden. Viele Prozesse greifen mit sehr unterschiedlichen Zeitskalen ineinander und sind nach wie vor zu wenig verstanden, um sie verlässlich in Modellen abzubilden.

Die engen Beziehungen zwischen den verschiedenen Komponenten des Klimasystems erfordern zukünftig eine bessere Zusammenarbeit ganz unterschiedlicher Disziplinen. Zudem bedarf es gezielter Messungen in Labor- und Feldexperimenten, um zu verlässlicheren Vorhersagen und Projektionen des zukünftigen regionalen Klimawandels und der Luftqualität zu kommen. Forschungsbedarf ergibt sich weiterhin bei der Integration der unterschiedlichen Beobachtungssysteme mit Modellen wie auch bei der Entwicklung statistisch robuster Metriken zur Erkennung und Quantifizierung von Wechselwirkungen und deren Änderung sowie bei der Entwicklung detaillierterer Prozessmodelle für wichtige Wechselwirkungsprozesse.

Nur aus einer Kombination von Messungen und Modellvorhersagen können die notwendigen Entscheidungsgrundlagen für eine effektive und effiziente Klima- und Luftreinhaltungspolitik abgeleitet werden. Diese Forschungen müssen international abgestimmt sein, denn keine Nation kann diese großen Herausforderungen allein bewältigen. Letztlich geht es darum, ein globales Beobachtungssystem zu etablieren.

Nur aus einer Kombination von Messungen und Modellvorhersagen können die notwendigen Entscheidungsgrundlagen für eine effiziente Klima- und Luftreinhaltungspolitik abgeleitet werden.

## 6. Treibhausgas-Kreisläufe im Klimasystem

Die Zunahme der drei im Hinblick auf den Klimawandel wichtigsten atmosphärischen Treibhausgase, Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ), wird durch zwei Vorgänge bestimmt: durch die direkten anthropogenen Emissionen und durch die zukünftige Entwicklung der natürlichen Quellen und Senken dieser Gase.

Heutige Erdsystemmodelle können die Kreisläufe der Treibhausgase nur begrenzt beschreiben, da wesentliches Wissen über die biogeochemischen Quellen- und Senken-Prozesse entweder fehlt (z. B. bei Permafrostodynamik) oder nur unvollständig vorliegt (z. B. bei Bodenrespiration, Nährstofflimitierung, Einfluss von Extremereignissen, Einfluss von Ozeanerwärmung, -schichtung und -versauerung auf die marine Biosphäre). Entsprechend zeigen unterschiedliche Erdsystemmodelle unter gleichem Emissionsszenario sehr verschiedene Simulationsergebnisse.

Es bestehen bereits zahlreiche Forschungsinitiativen zur Reduktion dieser Unsicherheiten. Wesentlicher Forschungsbedarf besteht jedoch für:

- Prozessstudien (in situ und unter kontrollierten Bedingungen),
- die Verstärkung und den Ausbau der regionalen und globalen Beobachtungssysteme zur langfristigen und systematischen Erfassung der Treibhausgasbilanzen sowie
- die Entwicklung der nächsten Generation der biogeochemischen Module in Erdsystemmodellen (Kopplung des Kohlenstoffkreislaufs mit den Wasser- und Nährstoffkreisläufen, Artenvielfalt der terrestrischen und marinen Biosphäre, Altersstruktur der Vegetation, dreidimensionale Permafrostdynamik).

Diese Initiativen müssen zu einer langfristigen Forschungsstrategie zusammengeführt werden, da viele relevante bio-geochemische Prozesse sich erst nach Jahren in der natürlichen Klimavariabilität bemerkbar machen.

Diese Initiativen müssen zu einer langfristigen Forschungsstrategie zusammengeführt werden, da viele relevante biogeochemische Prozesse, wie z. B. die Anpassung von Ökosystemen, sich erst nach fünf bis zehn Jahren und mehr in der natürlichen Klimavariabilität bemerkbar machen. Zudem lassen sich anthropogene Veränderungen nur durch hinreichend lange und systematisch erhobene Zeitreihen zuverlässig von der natürlichen Variabilität trennen.

Klimaprojektionen verlangen, dass die anthropogenen Einwirkungen auf die Treibhausgasbilanzen wesentlich umfassender als bisher einbezogen werden.

Klimaprojektionen verlangen darüber hinaus, dass die anthropogenen Einwirkungen auf die Treibhausgasbilanzen wesentlich umfassender als bisher einbezogen werden. Hierzu gehört die Entwicklung von Verfahren zur quantitativen und raum-zeitlich hochauflösenden Erfassung der anthropogenen Emissionen. Das betrifft nicht nur die langlebigen Treibhausgase, sondern auch die Vielzahl von flüchtigen Gasen und die Aerosole (insbesondere durch die Förderung und Verarbeitung fossiler Brennstoffe, u. a. Fracking).

Zudem sollte besser verstanden werden, wie die weltweit massiv zunehmende Land-, Weide- und Forstwirtschaft sowie die fortschreitende Urbanisierung auf die Ökosysteme und deren Funktionen im regionalen und globalen Klimasystem mit weitreichenden Auswirkungen auf Treibhausgasquellen und -senken überhaupt wirkt. Wegen des fehlenden Prozessverständnisses steht die Berücksichtigung dieser Effekte in Erdsystemmodellen noch weitgehend aus.

## II Umgang mit Klimarisiken

Der Klimawandel stellt in zweierlei Hinsicht eine besondere gesellschaftliche Herausforderung dar. Zum einen wirkt der Anstieg der Treibhausgase zeitlich verzögert: Jahrzehnte, zum Teil erst Jahrhunderte nach ihrer Emission können sich drastische Auswirkungen auf das Klima entfalten. Zum anderen tritt der Klimawandel mit regional und lokal unterschiedlichen Effekten auf. Beide Aspekte sind Klimafolgen und können als Verteilungskonflikte interpretiert werden.

Die Langfristigkeit des Klimawandels führt zu Verteilungskonflikten zwischen den Generationen, wohingegen die räumlich unterschiedlichen Wirkungen des Klimawandels zu Konflikten innerhalb einer Generation beitragen können. In beiden Fällen ist nicht eindeutig zu identifizieren, welches Ausmaß diese Verteilungsproblematik annehmen wird.

Gesellschaftliche Entscheidungen zum Umgang mit dem Klimawandel sind deshalb mit zwei Arten von Unsicherheit konfrontiert: Zum einen sind die modellbasierten Projektionen der Klima- und Klimafolgenmodelle mit teilweise großen Unsicherheiten behaftet. Zum anderen sind aber vor allem die Auswirkungen auf die menschliche Gesellschaft schwer abzuschätzen. Die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Konsequenzen des Klimawandels liegen in der Zukunft und sind eng verknüpft mit der Art und Weise, wie sich eine Gesellschaft technisch, sozial oder wirtschaftlich entwickelt. Viele dieser gesellschaftlichen Dynamiken sind prinzipiell nicht vorhersagbar, so dass die Auswirkungen des Klimawandels auf Gesellschaften in der fernerer Zukunft kaum, möglicherweise gar nicht abgeschätzt werden können. Dennoch erfordert rationales gesellschaftliches Handeln, dass die Forschung Unsicherheiten über die Auswirkungen des Klimawandels besser beschreibt und begrenzt.

Die modellbasierten Projektionen der Klima- und Klimafolgenmodelle sind mit teilweise großen Unsicherheiten behaftet. Vor allem aber sind die Auswirkungen auf die menschliche Gesellschaft schwer abzuschätzen.

Klimarisiken als gesellschaftliche Herausforderung sind vielfältig beschrieben und diskutiert worden<sup>18</sup>. Bei dieser Diskussion ging es vorwiegend um die Frage, welche gesellschaftlichen Entscheidungen notwendig sind, um auf die beschriebenen Klimarisiken verantwortlich zu reagieren. Die Klimarisiken bzw. das Wissen um die Klimarisiken wurden dabei stets als gegeben angenommen. Hier soll es aber darum gehen, möglicherweise unberücksichtigte systemische Klimarisiken zu identifizieren und besseres Wissen über die Wahrscheinlichkeit und Verteilung bereits identifizierter zukünftiger Klimarisiken zu erzeugen. Konkret bedeutet dies für die mit Klimafragen befassten Forscher: Wie kann eine integrative Klima- und Klimafolgenforschung mehr und besseres Wissen über die zukünftige Entwicklung des Klimawandels einschließlich seiner gesellschaftlichen Auswirkungen erzeugen und zugleich die mit diesen Entwicklungen einhergehenden Unsicherheiten besser charakterisieren? Und wie kann die Forschung daraus Optionen eines verantwortlichen Umgangs mit dem Klimawandel für Regierungen, Unternehmen und Zivilgesellschaft entwickeln?

## 1. Determinanten von Klimarisiken

Risiko bestimmt sich aus der Eintrittswahrscheinlichkeit eines bestimmten Ereignisses und dem potentiellen Schaden, den dieses Ereignis verursachen kann. Damit sind sowohl direkte Schäden (z.B. Gebäudeschäden bei einer Überschwemmung) gemeint als auch indirekte Schäden (z.B. mittelfristige Beeinträchtigung des regionalen Gewerbes nach einer lange ausfallenden Verkehrsverbindung und überregionale Wirkungen in einer vernetzten Welt). Langfristig können auch politische Destabilisierung oder Vertrauensverlust in politische Institutionen mit dem Klimawandel einhergehen und den Wohlstand gefährden. Die Identifizierung von Klimarisiken erfordert also sowohl quantitative Aussagen über die Eintrittswahrscheinlichkeit bestimmter Veränderungen des Klimasystems als auch eine Bewertung der daraus entstehenden potentiellen Schäden. Methoden der Quantifizierung von Risiken stoßen da an Grenzen, wo Wahrscheinlichkeiten und Schadensausmaß, auch bei intensiver Forschung, unsicher bleiben werden. Es sind Risiken, die global wirken, in einer komplexen Vernetzung mit anderen Risiken stehen und kaum durch lineare Modelle von Ursache- und Wirkungsketten beschreibbar sind, sondern eher stochastischen und chaotischen Wirkungsbeziehungen folgen. Diese sog. systemischen Risiken stellen eine Herausforderung für Ethik und Gesellschaftswissenschaften dar. Alternative, eher qualitative Definitionen dieser Risiken, wie sie zum Beispiel im Sachstandsbericht des IPCC genutzt werden, versuchen mit diesem Problem umzugehen<sup>19</sup>. Sie erzeugen aber ihrerseits neue Herausforderungen für die interdisziplinäre Klimaforschung. Bisher gibt es wenige Ansätze, die Regeln für den Umgang mit systemischen Risiken entwickelt haben. Das Vorsorgeprinzip ist eine solche Möglichkeit, müsste allerdings operational definiert werden.

Die Bestimmung zukünftig erwarteter Nutzen und Schäden des Klimawandels erfordert das Zusammenspiel von unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen und Simulationsmodellen.

Die quantitative Bestimmung zukünftig erwarteter Nutzen und Schäden des Klimawandels erfordert das Zusammenspiel von unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen und Simulationsmodellen, welche die verschiedenen Wirkungsketten des Klimawandels in Projektionen abbilden. Die sektorenübergreifende Integration von Schäden (durch Monetarisierung oder durch andere Indikatoren) und deren Operationalisierung basiert zusätzlich auf explizit zu nennenden Werturteilen und/oder gesellschaftlichen Aushandlungsprozessen. Die Untersuchung der Wirkketten beginnt mit Projektionen von Veränderungen des Klimasystems mit Hilfe von Klimamodellen, deren Informationen die Grundlage der Projektionen von Klimafolgen sind, die dann wiederum mittels ökonomischer Modelle in mögliche Kosten und Nutzen von Klimawandel übersetzt werden oder mit Hilfe qualitativer Aussagen sozialwissenschaftlicher Analysen beschrieben werden. In jedem dieser Teilbereiche der Analyse von Klimawandel ist die Modellierung mit Unsicherheiten konfrontiert, die entweder in einem noch nicht ausreichenden Systemverständnis liegen (epistemische Unsicherheit) oder die prinzipiell nicht reduziert werden können, weil das System selbst stochastisch ist (aleatorische Unsicherheit).

Trotz dieser Unsicherheiten liegt es im gesellschaftlichen Interesse, die Auswirkungen des Klimawandels zu bewerten, um daraus Handlungsoptionen ableiten zu können.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Klimawirkungen über einen langen Zeitraum anfallen können. Klimafolgen wie der Meeresspiegelanstieg treten innerhalb von Jahrzehnten und Jahrhunderten auf, andere, wie das verstärkte Auftreten von Extremereignissen, eher in kürzeren Perioden. Klimafolgen können zudem kaskadenartige Prozesse auslösen oder Rückkopplungen aufweisen. Beispielsweise geht der Meeresspiegelanstieg häufig mit dem Eindringen von Salzwasser in das Grundwasser einher. Dadurch wird die wirtschaftliche Wertschöpfung von küstennahen Regionen beeinträchtigt, was zu Standortverlagerungen führen kann, die dann wiederum an anderer Stelle neue Probleme verursachen. Im Vorhinein sind solche Prozesse schwer zu identifizieren und, aufgrund mangelnder Datengrundlage, noch schwerer zu quantifizieren. Wenn in diesen Fällen keine genaue Charakterisierung der zu erwartenden Ereignisse möglich ist, sind die Gesellschaftswissenschaften gefordert, Methoden und Strategien zu entwickeln, die mit solchen Situationen systemischer Unsicherheiten umgehen können.

Die Risiken zukünftiger Klimaänderungen stellen nur einen Aspekt eines umfassenden globalen Wandels dar, so dass eine Risikobewertung von Klimawandel die Interaktionen mit anderen gesellschaftlichen Entwicklungen und deren Risiken explizit berücksichtigen muss.

So sind Gesellschaften, die aus anderen Gründen schon vulnerabel sind, von Klimarisiken möglicherweise stärker betroffen als resiliente Gesellschaften, die sich besser an den Klimawandel anpassen können. Es kann deshalb vorteilhafter sein, in der Forschung den Klimawandel und die Anpassung daran nicht isoliert zu untersuchen, sondern gesellschaftliche Entwicklungsprozesse systemisch integrativ zu betrachten. Die Sustainable Development Goals der UNO vereinigen diese Aspekte des Wandels von Gesellschaften und Natur.

Ein weiterer Aspekt sind regionale vorteilhafte Klimafolgen, die in eine Gesamtanalyse einfließen müssen. Beispielsweise wird in den hohen Breiten eine Ausweitung der potentiell für die Landwirtschaft geeigneten Flächen erwartet, die neue wirtschaftliche Möglichkeiten eröffnet.

Die verschiedenen regionalen Ausprägungen der Klimaänderungen und die damit einhergehenden Effekte sind bisher nur schwer vorhersagbar. Es ist aber heute schon klar, dass es Gewinner und Verlierer sowohl innerhalb einer Nation als auch zwischen den Staaten geben wird. Trotz der damit verbundenen Unsicherheiten über die Verteilung von Vor- und Nachteilen benötigt ein verantwortlicher Umgang mit dem Klimawandel auch eine Bewertung dieser Veränderungen.

Trotz dieser Unsicherheiten liegt es im gesellschaftlichen Interesse, die Auswirkungen des Klimawandels zu bewerten, um daraus Handlungsoptionen ableiten zu können.

Die Bewertung von Klimarisiken berührt die Frage der inter- und intragenerationalen Gerechtigkeit.

Die Bewertung von Klimarisiken wird nicht in einem global einheitlichen Rahmen stattfinden können, sondern muss die Vielfalt gesellschaftlicher Umstände berücksichtigen. Regional unterschiedliche Klimaänderungen treffen auf Gesellschaften mit unterschiedlichen wirtschaftlichen Strukturen, kulturellen Charakteristiken und verschiedener Ausprägung von Risikoaversion. Aber selbst wenn es sich um die gleichen natürlichen Veränderungen handelt, ist es wahrscheinlich, dass die gesellschaftliche Bewertung von wirtschaftlichen oder ökologischen Auswirkungen unterschiedlich ausfällt. Zu den kulturell unterschiedlichen Einstufungen kommt noch eine unterschiedliche Prioritätensetzung hinsichtlich kurzfristiger Ziele, wie der wirtschaftlichen Entwicklung, und langfristiger, wie dem Klimaschutz. Schließlich berührt die Bewertung von Klimarisiken die Frage der inter- und intragenerationalen Gerechtigkeit. Hier ist die gesellschaftswissenschaftliche Forschung gefordert, denn die unterschiedlichen gesellschaftlichen Prioritäten bei der Bewertung eines globalen Problems wie dem Klimawandel werfen auch ethische Fragen nach der Verantwortung für seine Kontrolle auf.

## 2. Wie kann die Klima- und Klimafolgenforschung zu einem verantwortlichen Umgang mit Klimarisiken beitragen?

Klima- und Klimafolgenmodelle, ebenso wie Projektionen oder modellbasierte Szenarien gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Entwicklung, werden immer mit einem bestimmten Grad an inhärenter Unsicherheit behaftet sein. Einige Phänomene des Klimawandels werden als systemische Risiken nicht quantifizierbar bleiben und nur in ihren möglichen Ausprägungen illustriert werden können. Gesellschaftliche Entscheidungen über den Klimaschutz ebenso wie über die Anpassung an den Klimawandel müssen trotz dieser Unsicherheiten getroffen werden. Die interdisziplinäre Klimaforschung und die Klimafolgenforschung können ihren Beitrag zu einem besseren Umgang mit diesen Risiken leisten, indem sie ihre Forschungsaktivitäten an den Bedürfnissen der Gesellschaft bei ihrem Umgang mit diesen Risiken ausrichten. Dazu gehört es, bisher unzureichend erfasste Risiken – etwa das räumlich und zeitlich korrelierte Auftreten von Extremereignissen oder Kaskadenrisiken – besser zu beschreiben und, wenn möglich, zu quantifizieren. Zudem geht es darum, insbesondere diejenigen Unsicherheiten, die mit hohen Risiken assoziiert sind, zu identifizieren und schrittweise zu reduzieren.

Die Forschung sollte sich auf die Klimaphänomene konzentrieren, bei denen das Wissensdefizit mit hohen gesellschaftlichen Schäden einherzugehen droht.

Eine Priorisierung sollte entlang der Komponenten der Unsicherheiten über die Klimafolgen einerseits und der daraus entstehenden monetären und nichtmonetären Kosten andererseits und im Hinblick auf mögliche Entwicklungspfade in die Zukunft erfolgen. Mit anderen Worten: Nicht unbedingt das Klimaphänomen, über welches das geringste Wissen besteht, hat höchste Forschungspriorität. Vielmehr sollte sich Forschung auf die Klimaphänomene konzentrieren, bei denen das Wissensdefizit mit hohen gesellschaftlichen Schäden einherzugehen droht oder wo zeitnah eine Entscheidung über einen Entwicklungspfad gefällt werden sollte, weil Pfadabhängigkeiten ein künftiges Umsteuern erschweren.

Umgekehrt müssen nicht diejenigen großen Schäden besser identifiziert und quantifiziert werden, die schon relativ präzise vorhergesagt werden können, sondern diejenigen, bei denen die größten Unsicherheiten über deren Eintrittswahrscheinlichkeiten herrschen und die aufgrund ihres hohen möglichen Schadens so gut wie möglich vermieden werden sollten. Letztlich setzt eine solche Forschung beim gesellschaftlichen Bedarf und nicht beim wissenschaftlichen Erkenntnisinteresse an.

Letztlich setzt eine solche Forschung beim gesellschaftlichen Bedarf und nicht beim wissenschaftlichen Erkenntnisinteresse an.

Voraussetzung für eine solche Priorisierung ist es, in einem gemeinsamen Prozess die naturwissenschaftlichen und die gesellschaftlichen Aspekte von Klimarisiken zunächst zu identifizieren. Dieser Prozess des Co-Designs von Forschungsagenden<sup>20</sup> erfordert die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Naturwissenschaftlern und Gesellschaftswissenschaftlern genauso wie die transdisziplinäre Kooperation mit anderen Akteuren. Die Naturwissenschaft kann identifizieren, wo präzisere Aussagen über die Wahrscheinlichkeitsverteilung bestimmter Klimaveränderungen und biophysikalischer Folgen durch weitere Forschung erreicht werden können, und zwar sowohl bezüglich der Art der Veränderungsprozesse als auch bezüglich ihres zeitlichen Verlaufs und ihrer geographischen Verteilung. Die Gesellschaftswissenschaften können wirtschaftliche wie soziale Effekte einschließlich eventueller Kaskaden identifizieren, resultierende Schäden besser bewerten und schließlich mögliche risikominimierende Entwicklungspfade aufzeigen. Schließlich sollte in die Priorisierung von Forschungsaktivitäten auch eine Bewertung der gesellschaftlichen Bedeutung verschiedener Phänomene des Klimawandels durch Akteure aus anderen Bereichen eingehen.

Die Strategie für die Erstellung einer zukünftigen Forschungsagenda zum Umgang der Gesellschaft mit Klimarisiken sollte deshalb in einem Diskursprozess des Co-Designs von Forschung erfolgen, der inter- und transdisziplinär stattfindet. Es sei betont, dass sich dies auf die Forschung zur Verbesserung des Umgangs mit Klimarisiken bezieht und nicht auf jegliche Forschung zum Klimawandel. Die Verbesserung des Systemverständnisses des Klimasystems und seiner Rückkopplungen im gesamten Erdsystem ebenso wie die Forschung zum Verständnis gesellschaftlicher Entwicklungsprozesse finden im Bereich Grundlagenforschung statt und bedürfen nicht einer besonderen Begründung. Sie können Hand in Hand mit der lösungsorientierten Forschung erfolgen.

Die Strategie für die Erstellung einer zukünftigen Forschungsagenda zum Umgang der Gesellschaft mit Klimarisiken sollte deshalb in einem Diskursprozess des Co-Designs erfolgen.

Der Prozess des Co-Designs von Forschung, Politik und Praxis ist dabei als iterativer Prozess zu verstehen, bei dem Forschung und praktische Umsetzung in einem permanenten Lernprozess stehen<sup>21</sup>. Genauso wichtig wie die inhaltliche Definition von Forschungsprioritäten ist dabei die Gestaltung des Prozesses, mit der die verschiedenen Akteure (akademische Forschung, politische und wirtschaftliche Entscheidungsträger, verschiedene institutionelle Ebenen) zu einer fruchtbaren Kommunikation finden können.

### 3. Mögliche Forschungsbereiche

Ohne den Prozess des Co-Designs vorwegzunehmen, können übergeordnete Forschungsbereiche identifiziert werden, die gesellschaftliche Risiken darstellen und die durch Fortschritte in der Klimaforschung leichter beherrschbar werden. Einige Beispiele sind im Folgenden aufgeführt:

#### **Identifikation von Effekten des Klimawandels im globalen Wandel**

Alle Beobachtungen von gesellschaftlichen Herausforderungen, die durch den Klimawandel beeinflusst werden, sind auch abhängig von anderen gesellschaftlichen Veränderungen, die parallel zum Klimawandel stattfinden (veränderte Bauweisen mit neuen Technologien, größere Anfälligkeit komplexer Infrastrukturen, Agglomeration von wirtschaftlichen Aktivitäten oder Siedlungen in potentiell durch Klimawandel gefährdeten Gebieten, intergenerationelle Änderungen von Wertesystemen). Dadurch ergeben sich zwei Forschungsfragen: Einerseits wird die Bestimmung der Auswirkungen des zukünftigen Klimawandels auf die wirtschaftliche Entwicklung und auf die Umwelt – und damit insgesamt auf die menschliche Wohlfahrt – nicht unabhängig von den gesellschaftlichen Veränderungen erfolgen können. Die Kosten des Klimawandels sind also konditional zu dem gesamten Prozess des globalen Wandels zu bestimmen. Dies ist eine Herausforderung für die interdisziplinäre Forschung. Andererseits ist es für zielgerichtete und effiziente gesellschaftliche Entscheidungen wichtig, die verschiedenen Ursachen für die Folgen des Klimawandels auseinander zu halten. Nur dann kann eine ursachengerechte Prävention und Anpassung an den Klimawandel erfolgen.

#### **Energiesicherheit und Klimawandel**

Die sichere Verfügbarkeit von Energie ist ein zentraler Baustein von wirtschaftlicher Entwicklung. Die Verfügbarkeit von Energie wird dabei durch verschiedene Aspekte des Klimawandels negativ oder auch positiv beeinflusst. So sind z. B. alle erneuerbaren Energiequellen, deren Ausbau gerade zur Vermeidung von Treibhausgasen forciert wird, mittel- (nachwachsende Rohstoffe, Wasserkraft) oder unmittelbar (Wind- und Sonnenenergie) an das Wetter bzw. Klima gekoppelt. Durch den Klimawandel verursachte Veränderungen in der Variabilität des Wetters können dadurch sowohl die räumliche als auch die zeitliche Verfügbarkeit erneuerbarer Energien beeinflussen. Häufigere und stärkere Stürme können die Sicherheit der eingespeisten Windenergiemengen verändern, längere Trockenzeiten die Drosselung von Kraftwerken aufgrund von Abwärmeproblemen erzwingen. Die damit verbundenen Anpassungserfordernisse an Netze, aber auch an die Nachfrage der Stromverbraucher erfordern eine inter- und transdisziplinäre Zusammenarbeit, um die Herausforderung „Energiewende“ auch erfolgreich meistern zu können.

## **Bewertung von extremen Wetterereignissen in der Atmosphäre, Hydrosphäre und an Küsten**

Mögliche mit dem Klimawandel verstärkte einhergehende Extremereignisse sind für Gesellschaften oft bedrohlicher als ein langsam fortschreitender Klimawandel. Daher gehören die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Auswirkungen der Extremereignisse in der Atmosphäre, in der Hydrosphäre und an den Küsten zu dem gesellschaftlich relevanten und nachgefragten Wissen, sowohl was die Gegenwart betrifft als auch die Erwartungen für die Zukunft. Bisher ist viel Arbeit darauf verwendet worden, Extremereignisse nach ihren geophysikalischen Variablen statistisch zu erfassen. Nun gilt es, signifikante Änderungen der Wahrscheinlichkeitsverteilungen und damit der Eintrittswahrscheinlichkeiten zu identifizieren und sie den Ursachen plausibel zuzuordnen. Da der Bestimmung von Wahrscheinlichkeiten für Extremereignisse Grenzen gesetzt sind, sollten alternative Informationen zu der Wirkung und Bedeutung von Extremereignissen erzeugt werden. Dazu gehört auch die Bewertung von Einzelereignissen. Die ethische Dimension wird bei der Bewertung von möglichen, aber kaum quantifizierbaren Ereignissen und dem Umgang mit solchen Möglichkeiten eine wichtige Rolle spielen.

## **Identifikation und Bewältigung von Zielkonflikten im Risikomanagement**

Auf allen politischen Ebenen müssen strategische Entscheidungen zum vorsorgenden Umgang mit Klimarisiken immer wieder Zielkonflikte (wie z. B. Wohnraumverdichtung versus Belüftung) antizipieren und bewältigen. Hierfür sind Ansätze erforderlich, die verschiedene Nexus integriert analysieren und dadurch Informationen für Abwägungsprozesse und neue Handlungsoptionen anbieten. So müssen bei Veränderungen der Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen neue Lösungen und Werkzeuge zur Unterstützung planerischer Entscheidungen in der Siedlungswasserwirtschaft entwickelt werden.

## **Abschätzung der sozialen und wirtschaftlichen Folgen des Klimawandels**

Während Integrated Assessment Modelle standardmäßig eingesetzt werden, um die globalen Kosten der Emissionsvermeidung zu quantifizieren, steht dem gegenüber eine weitaus weniger systematische Quantifizierung der ökonomischen und sozialen Folgen des Klimawandels. Insbesondere die Risiken von räumlich und zeitlich korrelierten Extremereignissen sowie deren langfristige Folgen werden in den gängigen Modellansätzen nicht aufgelöst. Hier müssen für eine umfassende Risikoanalyse neue globale und regionale Modellansätze sowohl auf naturwissenschaftlicher als auch auf gesellschaftswissenschaftlicher Seite entwickelt werden, um den Kosten der Emissionsreduktion eine belastbare Abschätzung der ökonomischen Folgen des Klimawandels gegenüberzustellen.

## III Klimaforschung in der demokratischen Gesellschaft

Der Klimawandel ist ein Thema von hoher gesellschaftlicher Relevanz, denn er betrifft alle Bereiche unseres Lebens. Gleichzeitig steigt der Bedarf an wissenschaftlicher Beratung zur Bearbeitung dieses komplexen Problems. Damit gerät Klimaforschung auch unter den Erwartungsdruck von Politik, Verwaltung<sup>22</sup> und Öffentlichkeit, gerade wenn es darum geht, verlässliche Prognosen und Projektionen über zukünftige Entwicklungen zu liefern, Risiken einzuschätzen und alternative, nachhaltige Entwicklungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

Die wissenschaftlichen Einschätzungen der Risiken des Klimawandels können Entscheidungen in Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft maßgeblich beeinflussen.

Diese wissenschaftlichen Einschätzungen der Risiken des Klimawandels können Entscheidungen in Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft maßgeblich beeinflussen. Zudem findet Klimaforschung, wie alle anderen Wissenschaftsbereiche auch, nie in einem „gesellschaftsfreien“ Raum statt. Forscherinnen und Forscher sind immer auch Teil einer Gesellschaft und praktizieren Wissenschaft in einer Welt, die von Wertvorstellungen und Normalitätserwartungen geprägt ist.

Die schon in Kapitel II (S. 21) angesprochenen Verteilungskonflikte, die sich aus dem Klimawandel ergeben, erfordern letztlich eine Debatte um Werte wie die der internationalen und intergenerativen Gerechtigkeit. Die Klimaforschung kann dazu ihren Beitrag leisten, sie kann diese Debatte aber nicht entscheiden. Und schließlich stellt die Politik Ressourcen bereit, um Entscheidungen auf der Grundlage wissenschaftlich valider Ergebnisse treffen zu können. Aufgrund dieser sehr engen, wechselseitigen Beziehungen steht Klimaforschung in demokratischen Gesellschaften unter der besonderen Beobachtung der Öffentlichkeit.

Aus diesen Vorüberlegungen ergeben sich drei Themenkomplexe, die zukünftig grundlegender und systematischer bearbeitet werden sollten.

### **Selbstverständnis der Klimaforschungs-Communities**

Die Rolle von Klimawissenschaftlerinnen und Klimawissenschaftlern (der „Blick nach innen“) wurde in der Vergangenheit schon ansatzweise diskutiert, zum Beispiel im Zusammenhang mit dem Modell des honest broker<sup>23</sup>. Allerdings müssen diese Überlegungen im Hinblick auf die besondere Situation der Klimaforschung systematisiert und erweitert werden.

### **Strukturwandel der Klimaforschung**

Handlungsrelevant ist aus der Sicht von Entscheidungsträgern vor allem Wissen über gesellschaftliche Folgen und Handlungsoptionen. Damit erweitert sich auch das Themenspektrum der Klimaforschung, zu dessen Bearbeitung neue wissenschaftliche Disziplinen aus den Sozialwissenschaften hinzugezogen und neue Formen der inter- und transdisziplinären Zusammenarbeit entwickelt werden müssen.<sup>24</sup>

## Wissensbasierte gesellschaftlich relevante Politikberatung

Der dritte Themenkomplex nimmt einen Perspektivenwechsel von der Klimaforschung selbst zu ihren möglichen Adressaten in Politik und Zivilgesellschaft vor (der „Blick nach außen“) und fragt, wo Informationsbedarf aus der Sicht dieser Zielgruppen besteht und welche Herausforderungen sich daraus an Politikberatung ergeben.

### 1. Klimaforscherinnen und Klimaforscher als gesellschaftliche Akteure – der „Blick nach innen“

Der „Blick nach innen“ richtet das Forschungsinteresse auf das Beziehungsgefüge zwischen Klimawissenschaftlern und ihrem gesellschaftlichen Umfeld sowie auf die Art und Weise, wie wissenschaftliches Wissen generiert und kommuniziert wird.

Mit diesen Themen beschäftigen sich Sozialwissenschaften – wie beispielsweise Wissenschaftsforschung – bereits seit langem. Was bisher aber fehlt, ist die systematische Aufarbeitung der bestehenden Befunde für die Klimaforschungs-Community. Zentral geht es darum, die Bedingungen und Möglichkeiten der Produktion klimarelevanten Wissens soziologisch, wissenschaftstheoretisch und politikphilosophisch zu erforschen und diese Ergebnisse in die Klimaforschung einzubringen.

Es geht darum, die Bedingungen und Möglichkeiten der Produktion klimarelevanten Wissens soziologisch, wissenschaftstheoretisch und politikphilosophisch zu erforschen und die Ergebnisse in die Klimaforschung einzubringen.

Unter diesem Gesichtspunkt ergeben sich vier Themenfelder:

#### Wissensgenerierung

Eine der zentralen Herausforderungen, mit der Klimaforschung konfrontiert ist, stellt der Umgang mit Unsicherheit und der Pluralität von wissenschaftlichen Sichtweisen dar. Von daher gewinnt die Frage an Gewicht, wie Konsens und Dissens in der Wissenschaft hergestellt werden und welche Folgen diese Formen der wissenschaftlichen Koordination für die wissenschaftliche Qualität, politische Legitimität und gesellschaftliche Relevanz von Forschung haben.

Zu fragen ist auch: Wie beeinflussen die kulturellen Grundlagen die Prozesse der Wissensgenerierung? Ergeben sich daraus problematische Forschungspraktiken, die überdacht werden müssten?

#### Institutionelle Ausgestaltung

Die spezifische institutionelle Ausgestaltung prägen Sichtbarkeit, Selbstverständnis und Wahrnehmung der Klimaforschung.

Zu fragen ist: Welche Erkenntnisse lassen sich über Funktionalitäten und Dysfunktionalitäten von unterschiedlichen institutionellen Formen der Forschung gewinnen? Inwiefern lassen sich daraus Reformmöglichkeiten ableiten?

## Wissensaustausch

Ein weiteres Thema sind die Dynamiken und Bedingungen des Wissensaustauschs zwischen Klimaforschung und Politik, Wirtschaft sowie Medien. Hierbei geht es auch um die Konkurrenz mit anderen Wissensformen, wie z. B. Praxiswissen, lokale Narrative oder auch Zuspitzungen in Form von Katastrophenberichterstattung.

Zu fragen ist: Wie lässt sich der Wissensaustausch zwischen Klimaforschern und anderen gesellschaftlichen Akteuren charakterisieren? Welche Bedeutung hat dabei die Konkurrenz mit anderen Wissensformen?

## Nachhaltige Wissenschaftskommunikation

Schließlich geht es um die Herausforderungen einer nachhaltigen Wissenschaftskommunikation. Das Kapital der Wissenschaft – die breite gesellschaftliche Akzeptanz wissenschaftlichen Wissens – sollte nicht durch politisierte Kommunikation aufs Spiel gesetzt werden; auch nicht, indem sich beispielsweise die Wissenschaft unreflektiert auf massenmediale Formate einlässt.

Zu fragen ist: Wie lässt sich glaubwürdige Wissenschaftskommunikation mit der Eigenlogik media-ler Diskurse und politischer Entscheidungsprozesse vereinbaren?

Die Forschung zu diesen Fragen soll sowohl das Selbstverständnis der Klimaforscher bezüglich ihrer Rolle als gesellschaftliche Akteure klären als auch zur Weiterentwicklung der Klimakommunikation und der wissenschaftlichen Politikberatung beitragen.

## 2. Strukturwandel in der Klimaforschung – die Breite des Klimathemas anerkennen

Die nationale und internationale Klimaforschung hat sich in den letzten beiden Jahrzehnten deutlich gewandelt. Einer der Gründe dafür sind die immer offensichtlicheren Folgen des Klimawandels weltweit und damit zusammenhängend die immer intensiveren Debatten über Anpassungs- und Vermeidungsoptionen im politischen Raum. Die Bedeutung dieser Themenfelder nimmt also zu – und damit die Bedeutung der Sozialwissenschaften in der Klimaforschung. Dieser Strukturwandel der Forschung spiegelt sich auch in den beiden letzten IPCC-Sachstandsberichten (von 2007 und 2013/14) wider.

Für die Sozialwissenschaften bedeutet dies, dass zwei Themenfelder an Bedeutung gewinnen:

### Grundlagenforschung in neuen Bereichen

Die sozialwissenschaftliche Grundlagenforschung untersucht, wie Klimawandel von gesellschaftlichen Akteuren, Organisationen und Institutionen wie den Medien wahrgenommen und bearbeitet wird. Damit findet ein Perspektivwechsel statt, da nicht mehr beim Klimawandel selbst, wie in der naturwissenschaftlichen Forschung, sondern bei gesellschaftlichen Dynamiken – wie etwa kulturellen Wahrnehmungsmustern, unternehmerischem Handeln, privatem Konsum oder politischer Regulierung – angesetzt wird. Erforscht werden beispielsweise Agenda-Setting-Prozesse, also die Frage, nach welchen Kriterien Medien oder Politik den Klimawandel als ein Thema auswählen, das

Es findet ein Perspektivwechsel statt, da nicht mehr beim Klimawandel selbst, sondern bei gesellschaftlichen Dynamiken angesetzt wird.

dann öffentlich bearbeitet und politisch reguliert wird, wobei der Klimawandel nur eines unter vielen verfügbaren Themen ist. Damit verbunden wird untersucht, was sich in Politik, Medien oder Wirtschaft verändert, wenn der Klimawandel in diesen Bereichen aufgegriffen und bearbeitet wird. Es geht dabei um die Dynamiken, die gesellschaftliche Entwicklungen grundsätzlich antreiben, also auch dann, wenn Klimawandel nicht wahrgenommen und bearbeitet wird. Denn es sind diese Dynamiken, die die Umsetzungsmöglichkeiten für Klimaschutz und Klimaanpassung letztlich bestimmen. Es wird deutlich, dass die Klimapolitik eingebettet ist in viele andere Bereiche und als nur eine, wenn auch wichtige, Komponente eines Gesamtsystems zu sehen ist.

### **Wachsende Bedeutung von Inter- und Transdisziplinarität**

In den letzten Jahren werden Rufe nach Nachhaltigkeit der Wissenschaft, nach Transdisziplinarität oder integrativer Forschung zur Bewältigung politischer Herausforderungen wie des Klimawandels oder auch der Energiewende lauter. Die Begriffe variieren und sind auch nicht identisch. Im Kern geht es aber um die Forderung nach einer stärkeren Einbeziehung von Vertretern aus Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft in das Design von Forschungsagenden (Co-Design) oder auch in die Forschung selbst (Co-Production). Beispiele sind das EU-Forschungsprogramm „Horizon 2020“ wie auch die Forschung zum globalen Wandel („Future Earth“) und das Forschungsprogramm FONA (Forschung für nachhaltige Entwicklungen) des BMBF. In der Praxis werden seit einigen Jahren hierzu vielfältige Erfahrungen gesammelt und unterschiedliche Formate der Beteiligung von nicht-wissenschaftlichen Akteuren, sog. Stakeholdern, erprobt. Bislang sind diese Formate aber kaum systematisch aufgearbeitet und evaluiert worden. Für die zukünftige Klimaforschung müsste der Stand der Forschung im Hinblick auf unterschiedliche Funktionen und Folgen von transdisziplinären Forschungsprozessen aufgearbeitet und für eine Anwendung in der Klima- und Klimafolgenforschung gebündelt werden.

In den letzten Jahren werden Rufe nach Nachhaltigkeit der Wissenschaft, nach Transdisziplinarität oder integrativer Forschung zur Bewältigung politischer Herausforderungen lauter.

Daraus ergeben sich zwei Fragestellungen:

- 1) Inwieweit erfüllen bestehende Institutionen der wissenschaftlichen Politikberatung ihre angestrebten Funktionen in Bezug auf wissenschaftliche Qualität, Entscheidungsrelevanz und Legitimation?
- 2) Wie müssten sowohl Politikberatung als auch Klimaforschung in Zukunft aufgestellt sein, um den Erwartungen an transdisziplinäre Forschungsprozesse Rechnung zu tragen?

Die Ergebnisse der Grundlagenforschung in neuen Bereichen und der integrativen Forschung sollen nicht zuletzt zu neuen Ansätzen in der Klimaforschung und wissenschaftlichen Politikberatung beitragen.

### 3. Wissensbasierte gesellschaftlich relevante Politikberatung – der „Blick nach außen“

Der Bedarf an Information und Beratung ist auf Seiten der Entscheidungsträger kontextspezifisch: Er bezieht sich auf ein bestimmtes zu lösendes Problem.

Eine zentrale Herausforderung der wissenschaftlichen Politikberatung besteht darin, wissenschaftliche Ergebnisse auf den spezifischen Bedarf von Entscheidungsträgern zuzuschneiden. Der Bedarf an Information und Beratung ist auf Seiten der Entscheidungsträger kontextspezifisch: Er bezieht sich auf ein bestimmtes zu lösendes Problem in einem bestimmten Sektor, etwa Hochwasserschutz oder Energieversorgung, auf einer bestimmten Ebene (regional, national oder global), in einem bestimmten Zeitfenster und unter Berücksichtigung unterschiedlicher rechtlicher Rahmenbedingungen. Um wissenschaftliche Ergebnisse auf den Bedarf unterschiedlicher Adressaten zuzuschneiden, benötigen politikberatende Institutionen mehr als bisher Kenntnisse über Spielregeln und Funktionsweisen der „Nachfrage-Seite“.

#### Beratung im Bereich Klimaanpassung: Klimaservice

Bis dato haben sich Initiativen und Institutionalisierungen des Klimaservice auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene pragmatisch oder experimentell oder auch ad hoc entwickelt. In Deutschland kann man inzwischen auf eine ganze Reihe etablierter Institutionen zurückgreifen. Bestandsaufnahmen von wissenschaftlich gesichertem Wissen, angelehnt an die Arbeitsweise der IPCC-Sachstandsberichte, haben sich in der Praxis auch für regionale Betrachtungsweisen bewährt<sup>25</sup>. Klimaservice, der sich mit konkreten Anforderungen vor Ort beschäftigt, kann Bevölkerung und Entscheider „mitnehmen“ und sollte im Sinne eines Dialogs auf Augenhöhe breiter etabliert und weiterentwickelt werden.

Folgende Aspekte sollten bei der Weiterentwicklung berücksichtigt werden:

- Bessere und allgemein zugängliche Datensätze zum regionalen Klimawandel.
- Genauere Bewertung von regionalen Veränderungen, separiert nach globalen, regionalen und lokalen Einflüssen, um Umfang und Zeithorizonte von Anpassungsmaßnahmen besser planen zu können.
- Regionale und lokale Dialogangebote, um transdisziplinären Austausch zu ermöglichen; dabei ist sozialwissenschaftliche Begleitforschung unverzichtbar.

#### Politikanalyse (Policy Assessment)

Die Konzentration auf wissenschaftlich-technische Lösungen blendet Probleme der gesellschaftlichen Akzeptanz oft aus; solche Probleme werden jedoch an Bedeutung gewinnen.

Ziel von Politikanalysen ist es, unterschiedliche Handlungsoptionen und ihre praktischen Konsequenzen abzuschätzen und somit Handlungsspielräume aufzuzeigen. Eine der zentralen Forschungslücken besteht im Hinblick auf die Auswirkungen alternativer Klimaschutzpolitikoptionen sowie im Bereich kritischer Ex-Post-Analysen von Politikinstrumenten wie dem europäischen Emissionshandel. Die Konzentration auf wissenschaftlich-technische Lösungen blendet Probleme der gesellschaftlichen Akzeptanz oft aus; solche Probleme werden jedoch an Bedeutung gewinnen, wie die Debatten um Fracking, Geo-Engineering und negative Emissionen schon zeigen.

Es müssen neben Aspekten der technologischen und ökonomischen Machbarkeit verstärkt Fragen der politischen Realisierbarkeit und Legitimität von klimapolitischen Optionen thematisiert werden. Diese Form der Politikanalyse erfordert Grundlagenforschung im Hinblick auf das Verständnis der Wechselwirkungen von politischen Maßnahmen sowie Methoden ihrer integrierten Bewertung. Über die Evaluierung von Handlungsoptionen hinaus ist auch eine rationale Debatte um Werteentscheidungen notwendig, die beispielsweise internationale und intergenerative Gerechtigkeit und Verteilung von Risiken betreffen. (siehe hierzu Abschnitt (1) in diesem Kapitel sowie Kap II). Natur- und Sozialwissenschaften können hier die unterschiedlichen Implikationen aufzeigen, die mit der Umsetzung bestimmter Wertannahmen verbunden sind. Zum Beispiel kann die Forderung nach der Umsetzung von Gleichheit wegen der sich daraus ergebenden unerwünschten Nebeneffekte zum kritischeren Nachdenken über die ursprünglichen Wertannahmen anregen.

### **Bestandsaufnahme der Beratungslandschaft**

Die Diversität von Beratungsangeboten in und für die Klimapolitik hat national und international zu einer eher unübersichtlichen Beratungslandschaft geführt. Es wäre lohnend, diese zu kartieren und sowohl Erfolg als auch Scheitern bisheriger Beratungsangebote aufzuarbeiten.

Es wäre lohnend, die Beratungsangebote zu kartieren und sowohl Erfolg als auch Scheitern aufzuarbeiten.

Folgende Aspekte sollten dabei untersucht werden:

#### **Beratungsbedarf**

Wo genau besteht konkreter Informationsbedarf aus Sicht von unterschiedlichen gesellschaftlichen Zielgruppen wie Politik, Verwaltung und Zivilgesellschaft? Was sind die relevanten Informationen, und wo bestehen Wissensdefizite aus der Perspektive von betroffenen Zielgruppen?

#### **Eigenlogik der Politikprozesse**

Wie verlaufen politische Entscheidungsprozesse? Nach welchen Kriterien werden politische Maßnahmen bewertet, auf welcher Basis wird entschieden und welche Rolle spielt wissenschaftliche Evidenz? Welche besonderen Herausforderungen ergeben sich unter hoher wissenschaftlicher Unsicherheit und politischer Konflikträchtigkeit?

#### **Wechselseitige Verständigung**

Wie lassen sich die politische Nachfrage und das wissenschaftliche Angebot an Wissen vereinbaren? Welche Zielkonflikte zwischen wissenschaftlichen und politischen Erwartungen können bei der Vermittlung auftreten? Welche Verfahren, Prozesse und institutionellen Designs können etabliert werden, um einen produktiven Austausch zu bewerkstelligen?

### **Institutionelle Rahmenbedingungen**

Das institutionelle Design des IPCC ist bereits relativ umfassend untersucht worden, und vielerorts wird das IPCC-Modell kopiert. Allerdings ist dieses auf den Informationsbedarf multilateraler Entscheidungsstrukturen der internationalen Klimapolitik zugeschnitten. Welche Rolle aber kann der Weltklimarat in einer ‚fragmentierten‘ und polyzentrischen Architektur des Klimaregimes spielen? Schließlich sind bereits neue Formen der Politikberatung von der globalen bis hin zur lokalen Ebene institutionalisiert worden, deren Design und Funktionsweise noch relativ unerforscht sind. Forschung könnte hier Aufschluss über Alternativen zu den etablierten Formen der Politikberatung liefern.

### **Qualitätssicherung**

Wie kann die Qualität der Prozesse und Ergebnisse der Klimaforschung und Politikberatung gesichert werden? Welche alternativen Verfahren der Qualitätssicherung zum klassischen Peer-Review gibt es, um Berichte und Informationen einzubeziehen, die häufig qualitativ hochwertig, aber nicht nach den traditionellen wissenschaftlichen Verfahren begutachtet worden sind („graue Literatur“)?

Zu fragen ist: Wie kann sich Wissenschaft an der Debatte um gesellschaftliche Transformation beteiligen?

In einem ersten Schritt sollte im Rahmen einer wissenschaftlichen Analyse eine empirische Bestandsaufnahme vorgenommen werden. Erheblicher Forschungsbedarf besteht auch im Hinblick auf die Frage, wie die bereits etablierte Beratungslandschaft erfasst und evaluiert werden kann. Zu untersuchen wären insbesondere Faktoren, die Politikberatungsprozesse maßgeblich beeinflussen. Auf dieser Basis sollten Verfahren und institutionelle Rahmenbedingungen identifiziert werden, die dazu beitragen, den Verlauf und die Ergebnisse von Politikberatung zu optimieren. Zu fragen ist auch: Kann sich Wissenschaft an der Debatte um gesellschaftliche Transformation aktiv beteiligen ohne sich dabei dem Vorwurf der Aufgabe der wissenschaftlichen Integrität auszusetzen? Wie können diese gesellschaftlichen Lernprozesse formalisiert werden, um mit komplexen gesellschaftlichen Herausforderungen in einer glaubwürdigen und legitimen Weise umzugehen?

## Anmerkungen

<sup>1</sup> IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change, Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen, Kurzbezeichnung: Weltklimarat. 1988 vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) ins Leben gerufen, um für politische Entscheidungsträger den Stand der wissenschaftlichen Forschung zusammenzufassen und zu bewerten. Zuletzt erschienen 2013 und 2014 die vier Bände des fünften Sachstandsberichtes zu den wissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels (Band 1), den Klimafolgen (Band 2), dem Klimaschutz (Band 3) und der Synthesebericht (Band 4). In der „Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger des IPCC-Sachstandsberichtes ‚Klimaänderung 2013 – Wissenschaftliche Grundlagen‘“ lautet die Feststellung auf S. 13: „Der menschliche Einfluss auf das Klimasystem ist klar. Das ist offensichtlich aufgrund der ansteigenden Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre, dem positiven Strahlungsantrieb, der beobachteten Erwärmung und des Verständnisses des Klimasystems. {2–14}“; [http://www.de-ipcc.de/\\_media/IPCC\\_AR5\\_WG1\\_SPM\\_deutsch\\_WEB.pdf](http://www.de-ipcc.de/_media/IPCC_AR5_WG1_SPM_deutsch_WEB.pdf)

<sup>2</sup> Es werden vorzugsweise geschlechtsneutrale Bezeichnungen verwendet. Da, wo dies nicht möglich ist, findet sich an exponierten Stellen die männliche und die weibliche Bezeichnung, ansonsten aus Gründen der Lesbarkeit nur die männliche. Bei allen angesprochenen Personen in diesem Text sind aber selbstverständlich immer Männer und Frauen gleichermaßen gemeint.

<sup>3</sup> WCRP: World Climate Research Programme ist ein internationales Programm auf UN-Ebene zur Erforschung des Klima- bzw. Erdsystems. Ebenso IGBP – International Geosphere-Biosphere Programme – das seinen Fokus auf die Erforschung des globalen Wandels im Erdsystem legt. Die internationale Querschnittsplattform „Future Earth“ koordiniert Forschungsthemen zur Transformation in eine nachhaltige Gesellschaft.

<sup>4</sup> Projektionen sind Simulationen der Zukunft bzw. unterschiedlicher „Zukünfte“ – nicht zu verwechseln mit Prognosen (Vorhersagen, Voraussagen).

<sup>5</sup> Integrative Forschung ist der übergeordnete Begriff für inter- und transdisziplinäre Forschung. Interdisziplinarität bezeichnet das gemeinsame Forschen von Wissenschaftlern unterschiedlicher Disziplinen; in der transdisziplinären Forschung werden auch noch Praxispartner aus Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft einbezogen. Aus der angelsächsischen Praxis kommend, spricht man zunehmend auch von Co-Design (gemeinsames Erarbeiten der Forschungsfrage) und von Co-Production (gemeinsames Produzieren des Forschungsergebnisses).

<sup>6</sup> Die grundsätzlich akzeptierte Strategie im Umgang mit dem Klimawandel lautet: Vermeidung (engl. mitigation) des Klimawandels, vulgo Klimaschutz, insbesondere durch ein CO<sub>2</sub>-armes Energiesystem bei gleichzeitiger Anpassung (engl. adaptation) an den nicht mehr vermeidbaren Klimawandel, z. B. durch Erhöhung von Deichen.

<sup>7</sup> Klimasystemkomponenten sind: Atmosphäre, Ozean, Landflächen und Kryosphäre, einschließlich der Biosphäre auf dem Land und im Meer.

<sup>8</sup> Einige Prozesse können in Modellen nicht aufgelöst werden. Diese Prozesse werden parametrisiert, das heißt an den Modell-Gitterpunkten (Stützstellen) werden Informationen mit Hilfe von Messwerten oder theoretischen Konzepten beschrieben.

<sup>9</sup> Kryosphäre: die Gesamtheit des gefrorenen Wassers auf der Erde, insbesondere Meereis („Packeis“), Gletscher, Eisschilde („Eispanzer“), Permafrostböden („Dauerfrostböden“) und Schneebedeckung.

<sup>10</sup> Biosphäre: Der Bereich auf dem Planeten Erde, in dem Leben vorkommt. Er reicht von den oberen Erdschichten bzw. der Erdoberfläche (Lithosphäre) bis ca. 60 km in die Atmosphäre (Meso-sphäre).

<sup>11</sup> Man zählt Vulkane wie auch die anthropogenen Einflüsse zu den externen Antrieben, weil sie die Zusammensetzung der Luft ändern und deswegen, wie die Sonne, die globale Strahlungsbilanz der Erde ändern.

<sup>12</sup> Quellen geben Treibhausgase in die Atmosphäre ab und Senken nehmen sie aus der Atmosphäre auf und binden sie.

<sup>13</sup> El Niño / Southern Oscillation (kurz: ENSO) bezeichnet ein gekoppeltes Zirkulationssystem von Ozean und Atmosphäre im Bereich des tropischen Pazifiks, das u. a. die Temperatur des Wassers sowie Anzahl und Stärke der Stürme und Niederschläge beeinflusst. Das Zirkulationssystem kann innerhalb eines Jahres und von Jahr zu Jahr stark schwanken und trägt damit zur natürlichen Klimavariabilität auf der Erde bei.

<sup>14</sup> Versauerung bezieht sich auf den pH-Wert, der die Stärke einer sauren bzw. basischen Wirkung in einer wässrigen Lösung angibt. Der Mittelwert „7“ gilt als neutral. Das Meerwasser ist mit einem Wert von 7,5 – 8,4 leicht basisch. Allerdings ist der pH-Wert durch die Aufnahme von CO<sub>2</sub> bereits um durchschnittlich 0,11 Einheiten gegenüber der vorindustriellen Zeit gesunken, hat sich also in Richtung des sauren Bereichs verschoben. Dieser Prozess dauert an, solange die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre weiter zunimmt.

<sup>15</sup> Proxydaten sind indirekte Klimazeiger, die Rückschlüsse auf das Vorzeitklima oder auf vergangene Zustände der Atmosphäre zulassen. Dies können beispielsweise Baumringe, Pollen, Eisbohrkerne oder Hinweise auf Gletscherstände sein.

<sup>16</sup> Die Klimasensitivität ist ein theoretischer Wert. Er beschreibt, wie stark sich die Erde erwärmen würde, wenn es zu einer Verdoppelung des Kohlendioxid-Gehalts der Atmosphäre gegenüber dem vorindustriellen Niveau (von 280 ppm) käme. Der Fünfte Sachstandsbericht des IPCC nennt aufgrund der Unsicherheiten in diesem Bereich eine Spanne von 1,5 bis 4,5 Grad Celsius.

<sup>17</sup> in situ = Vor Ort: Darunter versteht man Messungen mit Flugzeugen, Ballons, Messtürmen u. ä., die z. B. direkt in der Wolke messen können – im Gegensatz zur Fernerkundung, die via Satelliten aus großer Distanz auf diese Wolken blicken und sie vermessen. Beide Methoden haben Vor- und Nachteile, weshalb man sie kombiniert.

<sup>18</sup> Siehe: IPCC Spezialbericht „Managing the Risk of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation“; siehe: Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken, Jahresgutachten 1998

<sup>19</sup> Siehe IPCC, 2014: Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. P. 3, Figure SPM 1

<sup>20</sup> Detailliert wurde dieser Prozess z. B. beschrieben in: W. Mauser, G. Klepper et al. (2013) „Transdisciplinary global change research: the co-creation of knowledge for sustainability“. Current Opinion in Environmental Sustainability, Volume 5, September 2013, Pages 420–431.

<sup>21</sup> Der 5. Sachstandsbericht des IPCC macht dazu konkrete Vorschläge.

<sup>22</sup> Im Folgenden werden Politik und öffentliche Verwaltung zur besseren Lesbarkeit unter dem Begriff „Politik“ zusammengefasst.

<sup>23</sup> Der Begriff geht auf den US-Sozialwissenschaftler Roger Pielke jr. zurück und meint den Wissenschaftler als ehrlichen Makler zwischen Politikoptionen.

<sup>24</sup> Inter- und Transdisziplinarität, siehe Anmerkung 5

<sup>25</sup> Als Beispiel sei der Bericht über das Klimawissen im Ostseeraum genannt, „Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin“ (BACC).

## Verfasserinnen und Verfasser

Kolleginnen und Kollegen unserer Mitgliedsinstitute, die an den Workshops, an der Texterstellung oder an beidem teilgenommen haben.

- Dr. Ulrich Barjenbruch**, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz  
**Marie-Luise Beck**, Deutsches Klima-Konsortium (DKK), Berlin  
**Dr. Silke Beck**, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Leipzig  
**Dr. Paul Becker**, Deutscher Wetterdienst (DWD), Frankfurt/Main  
**Dr. Joachim Biercamp**, Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ), Hamburg  
**Prof. Dr. Peter Braesicke**, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
**Dr. Ingo Bräuer**, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)  
**Prof. Dr. Achim Brauer**, Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ  
**Prof. Dr. John Burrows**, Institut für Umweltphysik, Universität Bremen  
**Prof. Dr. Martin Claußen**, Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) und Universität Hamburg  
**Prof. Dr. Anita Engels**, Exzellenzcluster CliSAP, Universität Hamburg  
**Dr. Georg Feulner**, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)  
**Dr. Irene Fischer-Bruns**, Climate Service Center 2.0 (CS2.0), Geesthacht  
**Dr. Katja Frieler**, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)  
**Prof. Dr. Bernd Hansjürgens**, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Leipzig  
**Dr. Andreas Hänsler**, Climate Service Center (CS2.0), Geesthacht  
**Dr. Fred Hattermann**, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)  
**Prof. Dr. Martin Heimann**, Max-Planck-Institut für Biogeochemie (MPI-BGC), Jena  
**Prof. Dr. Hermann Held**, Exzellenzcluster CliSAP, Universität Hamburg  
**Prof. Dr. Dr. h.c. Reinhard F. J. Hüttli**, Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ  
**Prof. Dr. Angelika Humbert**, Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI), Bremerhaven  
**Dr. Daniela Jacob**, Climate Service Center 2.0 (CS2.0), Geesthacht  
**Prof. Dr. Thomas Jung**, Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI), Bremerhaven  
**Dr. Tamara Kleber-Janke**, Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH  
**Prof. Dr. Gernot Klepper**, Institut für Weltwirtschaft (IfW) an der Universität Kiel  
**Prof. Dr. Arne Körtzinger**, GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel  
**Prof. Dr. Christoph Kottmeier**, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
**Dr. Joachim Krohn**, Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH  
**Prof. Dr. Mojib Latif**, GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel  
**Prof. Dr. Karin Lochte**, Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI), Bremerhaven  
**Prof. Dr. Andreas Macke**, Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V. (TROPOS), Leipzig  
**Dr. Stephan Mai**, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz  
**Prof. Dr. Jochem Marotzke**, Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M), Hamburg

**Prof. Dr. Katja Matthes**, GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel  
**Juliane Petersen**, Climate Service Center 2.0 (CS2.0), Geesthacht  
**Prof. Dr. Michael Ponater**, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR),  
Oberpfaffenhofen-Weßling  
**Prof. Dr. Monika Rhein**, MARUM Zentrum für Marine Umweltwissenschaften und Institut für  
Umweltphysik, Universität Bremen  
**Prof. Dr. Martin Riese**, Forschungszentrum Jülich  
**Dr. Simone Rödder**, Exzellenzcluster CliSAP, Universität Hamburg  
**Prof. Dr. Stefan Rahmstorf**, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)  
**Prof. Dr. Robert Sausen**, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR),  
Oberpfaffenhofen-Weßling  
**Dr. Torsten Schmidt**, Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ  
**Prof. Dr. Ralph Schneider**, Exzellenzcluster Ozean der Zukunft,  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
**Prof. Dr. Michael Schulz**, MARUM Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Universität Bremen  
**PD Dr. Martin Schultz**, Forschungszentrum Jülich  
**Dr. Markus Schwab**, Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ  
**Prof. Dr. Detlef Stammer**, Exzellenzcluster CliSAP, Universität Hamburg  
**Prof. Dr. Bjorn Stevens**, Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M), Hamburg  
**Prof. Dr. Hans von Storch**, Helmholtz-Zentrum Geesthacht,  
Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH  
**Prof. Dr. Georg Teutsch**, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Leipzig  
**Prof. Dr. Martin Visbeck**, GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel  
**Prof. Dr. Andreas Wahner**, Forschungszentrum Jülich  
**Prof. Dr. Peter C. Werner**, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)

## Expertinnen und Experten

Kolleginnen und Kollegen aus externen Instituten und Organisationen, die an den Workshops, an der Texterstellung oder an beidem teilgenommen haben.

**Dr. Olaf Burghoff**, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Berlin  
**Prof. Dr. Ulrich Cubasch**, Freie Universität Berlin  
**Prof. Dr. Susanne Crewell**, Universität zu Köln  
**Prof. Dr. Andreas Ernst**, Universität Kassel  
**Dr. Joachim Hein**, Bundesverband der Deutschen Industrie e.V., Berlin  
**Dr. Thomas Jahn**, ISOE - Institut für sozial-ökologische Forschung, Berlin  
**Dr. Brigitte Knopf**, Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC),  
Berlin  
**Prof. Dr. Reto Knutti**, Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich  
**Prof. Dr. Mark Lawrence**, Institute for Advanced Sustainability Studies e.V. (IASS), Potsdam  
**Petra Mahrenholz**, Umweltbundesamt (UBA), Dessau  
**Prof. Dr. Hans Peter Peters**, Forschungszentrum Jülich  
**Prof. Dr. Alexander Proelß**, Universität Trier

**Prof. Dr. Dr. h.c. Ortwin Renn**, Universität Stuttgart

**Prof. Dr. Jakob Rhyner**, United Nations Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS), Bonn

**Krista Sager**, Mitglied des Bundestages a. D., Senatorin für Wissenschaft u. Forschung a. D., Hamburg

**Dr. Bettina Schmalzbauer**, Deutsches Komitee für Nachhaltigkeitsforschung in Future Earth, German Committee Future Earth, Kiel

**Dr. Erika von Schneidmesser**, Institute for Advanced Sustainability Studies e.V. (IASS), Potsdam

**Dr. Christiane Textor**, Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Projektträger im DLR, Bonn

**Prof. Dr. Hermann Josef Thomann**, TÜV Rheinland Consulting GmbH, Köln

**Prof. Dr. Uwe Ulbrich**, Freie Universität Berlin

**Prof. Dr. Martin Voss**, Freie Universität Berlin

**Prof. Dr. Harald Welzer**, FUTURZWEI, Stiftung Zukunftsfähigkeit, Berlin

## **Kommentatoren**

Kollegen, die den finalen Text begutachtet und kommentiert haben.

**Dr. Oliver Geden**, Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP)

**Prof. Dr. Hartmut Graßl**, Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M), Hamburg

**Prof. Dr. Reiner Grundmann**, University of Nottingham

**Prof. Dr. Armin Grunwald**, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

**Prof. Dr. Klaus Hasselmann**, Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M), Hamburg

**Dr. Martin Kowarsch**, Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC), Berlin

**Prof. Dr. Peter Lemke**, Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI), Bremerhaven

**Prof. Dr. Wolfram Mauser**, Ludwig-Maximilians-Universität, München

**Dr. Gian-Kasper Plattner**, IPCC Working Group I Technical Support Unit, Universität Bern, Schweiz.

## Über uns

Das Deutsche Klima-Konsortium e. V. (DKK) organisiert führende Akteure der deutschen Klimaforschung und Klimafolgenforschung. Es wurde 2009 von namhaften Klimaforscherinnen und -forschern gegründet. Inzwischen vernetzen sich mehr als 20 weltweit angesehene Forschungseinrichtungen über das DKK. Dazu gehören Universitäten, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und Obere Bundesbehörden.

Das DKK versteht sich als Plattform für die Klimaforschung und als zentrale Anlaufstelle für Öffentlichkeit und Politik zu Fragen des Klimas und des Klimawandels. Unter dem Leitmotiv ‚Forschung für Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt‘ steht das DKK für wissenschaftsbasierte Politikberatung. Die Geschäftsstelle befindet sich in Berlin in der Nähe des Regierungsviertels.

## Unser Auftrag

Wir repräsentieren die wesentlichen Akteure der deutschen Klimaforschung und bilden eine integrative Plattform für unsere Mitglieder.

Wir vertreten die Interessen unserer Mitglieder bei der strategischen Planung der Klimaforschung in Deutschland und der EU.

Wir fördern den Informationsaustausch und unterstützen die interdisziplinäre Zusammenarbeit in der Klimaforschung.

Wir stehen im aktiven Dialog mit Entscheidungsträgern und tragen so zur Entwicklung und Formulierung von Programmen zur Forschungsförderung bei.

Wir stellen Medien und Gesellschaft Informationen zur Klimaforschung zur Verfügung, um zu einem besseren Verstehen des Klimawandels beizutragen.

Wir vermitteln Erkenntnisse aus der Klimaforschung an Entscheidungsträger und leisten so einen grundlegenden Beitrag zur Ausrichtung, Formulierung und Umsetzung von Klimapolitik.

Darüber hinaus setzt sich das Deutsche Klima-Konsortium für die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses ein und trägt mit seinen Arbeitsgruppen zur thematischen Ausrichtung der Klimaforschung bei.

Das Positionspapier „Perspektiven für die Klimaforschung 2015 bis 2025“ wurde am 7. Mai 2015 einstimmig durch die Ordentliche Mitgliederversammlung des DKK e. V. verabschiedet.

## Mitglieder des DKK



Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI), Bremerhaven, [www.awi.de](http://www.awi.de)



GEOMAR | Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel (GEOMAR), [www.geomar.de](http://www.geomar.de)



Institut für Umweltphysik an der Universität Bremen (IUP), [www.iup.physik.uni-bremen.de](http://www.iup.physik.uni-bremen.de)



Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz, [www.bafg.de](http://www.bafg.de)



Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ), [www.gfz-potsdam.de](http://www.gfz-potsdam.de)



Karlsruher Institut für Technologie – Institut für Meteorologie und Klimaforschung (KIT/IMK), [www.imk.kit.edu](http://www.imk.kit.edu)



Exzellenzcluster Integrated Climate System Analysis and Prediction an der Universität Hamburg (ClISAP), [www.clisap.de](http://www.clisap.de)



Helmholtz-Zentrum Geesthacht-Zentrum für Material- und Küstenforschung (HZG), [www.hzg.de](http://www.hzg.de)



Zentrum für Marine Umweltwissenschaften der Universität Bremen (MARUM), [www.marum.de](http://www.marum.de)



Deutsches Klimarechenzentrum GmbH (DKRZ), Hamburg, [www.dkrz.de](http://www.dkrz.de)



Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Leipzig, [www.ufz.de](http://www.ufz.de)



Max-Planck-Institut für Biogeochemie (MPI-BGC), Jena, [www.bgc-jena.mpg.de](http://www.bgc-jena.mpg.de)



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – Institut für Physik der Atmosphäre (DLR), Oberpfaffenhofen, [www.dlr.de](http://www.dlr.de)



Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V. (IfT), Leipzig, [www.tropos.de](http://www.tropos.de)



Max-Planck-Institut für Chemie (MPI-C), Mainz, [www.mpch-mainz.mpg.de](http://www.mpch-mainz.mpg.de)



Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)



Institut für Weltwirtschaft an der Universität Kiel (IfW), [www.ifw-kiel.de](http://www.ifw-kiel.de)



Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M), Hamburg, [www.mpimet.mpg.de](http://www.mpimet.mpg.de)



Forschungszentrum Jülich GmbH (FZ Jülich), [www.fz-juelich.de](http://www.fz-juelich.de)



Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW), [www.io-warnemuende.de](http://www.io-warnemuende.de)



Exzellenzcluster "Ozean der Zukunft" an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, [www.ozean-der-zukunft.de](http://www.ozean-der-zukunft.de)



Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), [www.pik-potsdam.de](http://www.pik-potsdam.de)



### Herausgeber

Deutsches Klima-Konsortium e.V. (DKK)  
im Wissenschaftsforum  
Markgrafenstraße 37  
10117 Berlin

T +49 30 76 77 18 69-0

F +49 30 76 77 18 69-9

[info@klima-konsortium.de](mailto:info@klima-konsortium.de)

[www.klima-konsortium.de](http://www.klima-konsortium.de)

### Redaktion

Marie-Luise Beck

Bildnachweis: Titel ©Gabriele Schlipf

Berlin, Mai 2015

Gedruckt auf:



ClimatePartner<sup>o</sup>  
**klimateutral**

Druck | ID: 53160-1505-1007

---

