

DIE ZUKUNFT DES KLIMAS

HERAUSGEGEBEN VON JOCHEM MAROTZKE
UND MARTIN STRATMANN



Neue Erkenntnisse, neue Herausforderungen

EIN REPORT DER MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

C·H·Beck

Gezielte Eingriffe

Climate Engineering aus klimawissenschaftlicher und völkerrechtlicher Perspektive

Von Hauke Schmidt¹ und Rüdiger Wolfrum²

1. Vorbemerkung

Die Versuche, durch eine völkerrechtlich vertraglich vereinbarte Einschränkung des Gebrauchs fossiler Brennstoffe den Ausstoß von CO₂ weltweit deutlich zu reduzieren, scheinen in absehbarer Zeit wenig erfolgversprechend. Daher ist es konsequent, nach Alternativen zu suchen, um Klimaveränderungen Einhalt zu gebieten oder sie zumindest zu verlangsamen. Angedacht werden gezielte Eingriffe in das Klimageschehen, die unter dem Begriff Climate Engineering³ (häufig auch Geoengineering genannt) zusammengefasst werden. Konkret umfasst Climate Engineering zwei Gruppen von Maßnahmen. Die erste wird als Carbon Dioxide Removal (CDR) bezeichnet, da die atmosphärische CO₂-Konzentration gesenkt wird; die zweite wird als Strahlungs- oder Radiation Management (RM) qualifiziert, da die Strahlungsbilanz und damit die Temperatur auf der Erde direkt beeinflusst werden.

Die beiden Maßnahmentypen unterscheiden sich grundsätzlich. CDR-Methoden zielen darauf ab, durch biologische, chemische oder physikalische Prozesse atmosphärisches CO₂ durch die Ozeane oder die terrestrische Biosphäre schneller aufnehmen zu lassen oder dieses geologisch zu speichern,⁴ und setzen damit an einer der Ursachen des Klimawandels an. Bei RM-Methoden soll dagegen die Sonneneinstrahlung auf die Erdoberfläche reduziert oder die Wärmerückstrahlung erhöht werden, womit nur die Symptome des Klimawandels angegangen würden. Wegen dieser grundlegenden Unterschiede muss bei der Diskussion mindestens zwischen den beiden genannten Kategorien, teilweise aber auch zwischen verschiedenen Methoden innerhalb dieser Kategorien differenziert werden. Dementsprechend werden in den folgenden Abschnitten CDR- und RM-Methoden sowohl im Hinblick auf klimawissenschaftliche als auch auf völkerrechtliche Aspekte getrennt behandelt.

Die Verwendung des Oberbegriffs Climate Engineering erscheint jedoch zumindest sinnvoll, um eine Abgrenzung gegenüber Maßnahmen der Mitigation, also der Minderung von Treibhausgasemissionen, und der Adaption, also der Anpassung an den Klimawandel, vorzunehmen. Allerdings ist die Zuordnung nicht in jedem Fall eindeutig. Die Verwendung der BECCS-Technologie⁵ wird beispielsweise häufig als Climate Engineering angesehen, obwohl die Einzelmaßnahmen der Bioenergieerzeugung oder des CCS der Mitigation zugeordnet werden. Andererseits wurde als Climate Engineering vorgeschlagen, Dächer oder Straßen zu weißen, um die Reflektion von Sonnenstrahlung zu erhöhen. Dies kann jedoch als lokale Maßnahme zur Veränderung eines Stadtklimas auch als Adaption angesehen werden.⁶ In den letzten Jahren sind verschiedene Assessment-Studien zum Stand der wissenschaftlichen Diskussion über Climate Engineering veröffentlicht worden, u. a. von der britischen Royal Society,⁷ dem Bundesministerium für Bildung und Forschung⁸ und dem US Government Accountability Office.⁹ Im Folgenden beschränken wir uns auf die Erörterung ausgewählter klimawissenschaftlicher und völkerrechtlicher Aspekte des Climate Engineering.

2. Klimawissenschaftliche Aspekte des Climate Engineering

2.1 RM-Methoden und ihre Wirkung auf das Klima

Versuche, das Wetter regional zu beeinflussen, gibt es seit vielen Jahrhunderten, heute in etwa 50 Staaten der Erde.¹⁰ Vorschläge zum Climate Engineering, das die globale Skala betrifft, sind mindestens seit dem Jahr 1965 dokumentiert, als in einem Bericht an den Präsidenten der USA¹¹ angeregt wurde, Möglichkeiten zu untersuchen, den potenziell schädlichen Klimawandel aufgrund erhöhter CO_2 -Konzentrationen durch eine Verstärkung der Reflektivität der Erde, also durch RM, zu kompensieren. Die wissenschaftliche und gesellschaftliche Diskussion derartiger Maßnahmen hat zugenommen seit einer Veröffentlichung des Nobelpreisträgers Paul Crutzen im Jahr 2006,¹² in der er einen Vorschlag des russischen Klimawissenschaftlers Michail Budyko aus den 1970er Jahren¹³ aufgreift. Budykos Idee, den abkühlenden Effekt großer Vulkanausbrüche nachzuahmen, indem man künstlich Schwefel in die untere Stratosphäre (in Höhen von etwa 20 km) einbringt, ist heute wohl der am meisten diskutierte Ansatz zum RM.

Die meisten RM-Methoden zielen darauf ab, den Anteil der Sonnenstrahlung, die am Erdboden absorbiert wird, zu reduzieren, weswegen häufig auch das Akronym SRM («Solar Radiation Management») verwendet wird. Vorschläge dazu beinhalten zum Beispiel riesige Spiegel im Weltraum, die oben bereits genannten Schwefelerosole in der Stratosphäre, das Aufhellen von Wolken oder das Weißen von Straßen und Dächern. Da seit einigen Jahren jedoch auch der Vorschlag existiert, Zirkuswolken zu manipulieren¹⁴ – und zwar nicht zur Beeinflussung der solaren Einstrahlung, sondern um die Emission von Wärmestrahlung zu erleichtern –, wird inzwischen häufig von RM statt von SRM gesprochen. Von den SRM-Methoden gelten Ideen zur Erhöhung der Reflektion am Boden als global zu wenig effektiv, Spiegel im Weltraum werden im Allgemeinen als technisch und ökonomisch schwer realisierbar angesehen. Neben den Schwefelerosolen wird momentan deshalb nur das Aufhellen von Wolken intensiv diskutiert. Jedoch sind Machbarkeit, Effektivität und Nebenwirkungen auch bei diesen beiden Methoden noch nicht geklärt.

Der Ausbruch des Vulkans Pinatubo auf den Philippinen im Jahr 1991 führte zu einer globalen Abkühlung, die in der Spitze etwa $0,4^\circ\text{C}$ erreichte. Vulkane zeigen einen Klimaeffekt, wenn sie große Mengen an Schwefel in die Stratosphäre emittieren.¹⁵ Im Falle des Pinatubo waren dieses etwa 7–10 Millionen Tonnen (Mt). Das emittierte Schwefeldioxid (SO_2) wird zu Sulfat oxidiert und bildet dann mit Wasser kleine Tröpfchen, die sogenannten Schwefelerosole, die etwa eine Lebensdauer von einem Jahr haben, bevor sie aus der Stratosphäre ausfallen. Während dieser Zeit reflektieren sie Sonnenlicht. Würde man künstlich Schwefel in die Atmosphäre einbringen, so müsste das im Gegensatz zu abrupten Vulkanausbrüchen eher kontinuierlich, etwa durch eine Flotte von hoch fliegenden Flugzeugen, geschehen. Wird SO_2 in eine Schicht mit bestehenden Aerosolen emittiert, kondensiert das Sulfat möglicherweise eher auf existierenden Partikeln, als neue zu bilden, was zu größeren Aerosolen führen und den Abkühlungseffekt beschränken würde. Dieses führt zu Unsicherheiten bei der Frage, wie viel Schwefel tatsächlich für eine gewünschte Abkühlung notwendig wäre. Darüber hinaus ist bekannt, dass stratosphärische Schwefelerosole die Aktivierung von Chlorsubstanzen fördern, die Ozon chemisch abbauen. Bei einer künstlichen Schwefel-emission müsste also zumindest mit einer Verlangsamung der prognostizierten Erholung der Ozonschicht gerechnet werden.

Um die vorgeschlagene Methode des Aufhellens (oder «Weißen») von Wolken¹⁶ zu veranschaulichen, werden häufig «Ship-Tracks» angeführt, das heißt dünne, lang gestreckte Wolkenmuster, die auf Aerosolpartikel aus Schiffsemissionen zurückgeführt werden und gelegentlich in Satellitenaufnahmen erkennbar sind. Erklärt werden diese Strukturen mit dem sogenannten «Twomey»-Effekt. Wolkentröpfchen bilden sich bevorzugt durch Kondensation auf Aerosolen. Sind viele Aerosole vorhanden, werden mehr und kleinere Tröpfchen gebildet, als wenn nur wenige Aerosole verfügbar sind. Wolken reflektieren Sonnenlicht umso stärker, je größer die Anzahl der Wassertropfen ist, auf die die gesamte Wassermenge verteilt ist. Um diesen Effekt auszunutzen, wurde vorgeschlagen, von Schiffen aus Meerwasser in sehr feinen Tröpfchen zu versprühen, so dass das enthaltene Meersalz als Kondensationskeim für neue Wolkentröpfchen fungieren kann. Als besonders geeignet werden die ausgedehnten Regionen maritimer Schichtwolken in den Subtropen angesehen. Es ist jedoch unsicher, welchen Strahlungseffekt man mit dieser Methode erreichen könnte. Die Wechselwirkung von Aerosolen und Wolken, der sogenannte indirekte Aerosoleffekt, der mit diesem Ansatz ausgenutzt werden soll, gilt wissenschaftlich bisher als nicht gut verstanden.

Man braucht keine Computermodelle, um zu verstehen, dass durch SRM-Maßnahmen kein historisches Klima reproduziert werden kann, sondern ein neuer Klimazustand kreierte würde. Während der Strahlungsantrieb von Treibhausgasen global und zeitlich relativ homogen verteilt ist, da die Erde überall und immer Wärmestrahlung emittiert, würde SRM vor allem bei starker Sonnenstrahlung wirken, also tagsüber ganzjährig in Äquatornähe und in der jeweiligen Sommerhemisphäre. Darüber hinaus ist gut verstanden, dass kurzwellige Sonnenstrahlung und langwellige Wärmestrahlung unterschiedliche Effekte auf den hydrologischen Kreislauf haben. Man kann deswegen nicht gleichzeitig die global gemittelte Temperatur und den global gemittelten Niederschlag eines historischen Klimas wiederherstellen. Der Niederschlagsanstieg, der im Klimawandel aus der erhöhten Temperatur resultiert, würde durch SRM-Maßnahmen überkompensiert, da die Reduktion der Sonnenstrahlung die Verdunstung am Boden effektiver beeinflusst als der verstärkte Treibhauseffekt.

Um genauer abzuschätzen, was für ein Klima durch SRM erzeugt würde, sind numerische Klimamodelle das einzige verfügbare Werk-

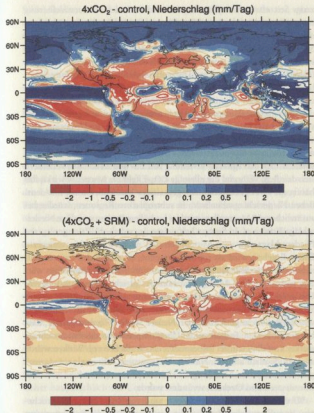


Abbildung 7: Mittlere jährliche Niederschlagsänderung in mm/Tag aus Computersimulationen für (oben) eine Vervierfachung der CO_2 -Konzentration in Vergleich zum Kontrollexperiment und (unten) für eine durch Reduktion der Sonnenstrahlung kompensierte Vervierfachung von CO_2 . Dargestellt ist ein Mittel, gebildet aus Simulationen von zwölf verschiedenen Klimamodellen aus dem GeoMIP-Projekt. In weiß markierten Regionen stimmen weniger als acht Modelle im Vorzeichen der Niederschlagsänderung überein.

zeug. Seit etwa zwei Jahrzehnten werden in der Klimamodellierung international koordinierte Modellvergleichsstudien durchgeführt, um die Robustheit von simulierten Klimasignalen beurteilen zu können. Speziell auf die Frage nach den Klimaeffekten von SRM zugeschnitten ist seit 2009 das «Geoen지니어ing Model Intercomparison Project» (GeoMIP),¹⁷ in dem etwa ein Dutzend Klimaforschungsinstitute Simulationsergebnisse bisher meist sehr idealisierter SRM-Szenarien vergleichen. Abbildung 1 zeigt beispielsweise die mittlere modellierte Verteilung der Niederschlagsänderung, die sich zum einen ergibt, wenn die atmosphärische CO₂-Konzentration vervierfacht würde, und zum anderen, wenn dieser zusätzliche Treibhauseffekt durch eine Reduktion der Sonnenstrahlung kompensiert würde. Nicht nur der Gesamtniederschlag, sondern auch die regionale Verteilung von Zu- und Abnahmen verändern sich deutlich. Während der alleinige CO₂-Effekt ein Muster bewirkt, das häufig als «wet gets wetter, dry gets drier» bezeichnet wird, mit deutlichen Niederschlagsabnahmen in subtropischen Regionen, würden bei zusätzlichem SRM vor allem mittlere bis höhere Breiten geringere Niederschläge aufweisen. In Europa beispielsweise, würde die Zone geringeren Niederschlags sich vom Mittelmeerraum nach Norden hin verlagern. Dieses Ergebnis wird als robust angesehen, da es von den meisten teilnehmenden Modellen in ähnlicher Form simuliert wird. Allerdings würden nicht alle SRM-Methoden exakt das gleiche Klima produzieren. Die in Modellen am häufigsten untersuchte simple Reduktion solarer Strahlung gibt Effekte stratosphärischer Aerosole oder des Aufhellens von Wolken nicht perfekt wieder. Neuere Studien¹⁸ haben gezeigt, dass bei diesen beiden Techniken die Überkompensation des Niederschlags stärker ausfallen würde. Insbesondere das Aufhellen von Wolken würde auch zu deutlich anderen Niederschlagsmustern führen als eine homogene Reduktion der Strahlung, da der Temperaturunterschied zwischen Kontinenten und Ozeanen verändert würde.

Wiederum deutlich andere Effekte sind von dem oben angesprochenen Vorschlag zu erwarten, nicht wie beim SRM die Reflektion von Sonnenstrahlung, sondern die ausgehende Wärmestrahlung zu manipulieren. Die Idee ist, in der oberen Troposphäre, also in Höhen um etwa 10 km, Partikel zu emittieren, die die heterogene Bildung von Eiskristallen auf Kosten der homogenen, nicht partikel-induzierten Bildung fördern. Dieses soll letztendlich zu einer Verringerung der Zirrusbewölkung führen. Da diese hohen Wolken, anders als die niedrigen maritimen

Schichtwolken, vor allem die Abstrahlung von Wärme beeinflussen, wäre der Effekt eine globale Abkühlung. Die globale Reduktion des Niederschlags, die als typische Folge von SRM-Maßnahmen erwartet wird, könnte bei dieser Methode ausbleiben. Allerdings gibt es bisher nur wenige Studien zu Effektivität und Klimawirkung der Methode.

Neben den genannten Unterschieden der verschiedenen RM-Maßnahmen gibt es auch viele Gemeinsamkeiten. Für alle gilt, dass ein zweites Problem der steigenden CO₂-Konzentration, die Versauerung der Meere, nicht gelöst wird. Weiterhin müssten, wenn keine andere Möglichkeit gefunden wird, der Atmosphäre der Kohlenstoff wieder zu entziehen, die Maßnahmen wegen der langen Lebensdauer von CO₂ über Jahrhunderte beibehalten werden. Sollte aus technischen oder politischen Gründen das RM beendet werden, würde ein Großteil des verhindert globalen Temperaturanstiegs innerhalb weniger Jahre nachgeholt werden. Als weiteres Problem wird angesehen, dass die Klimafolgen der Eingriffe schwer zu testen sind, wenn die Maßnahmen nicht global und über einen Zeitraum von mehreren Jahren eingesetzt werden, da natürlich auftretende Klimaschwankungen die Detektierbarkeit der Wirkung erschweren.

2.2 Klimawissenschaftliche Aspekte von CDR-Methoden

Wie eingangs gesagt, werden unter dem Begriff «Carbon Dioxide Removal» (CDR) Maßnahmen zusammengefasst, die darauf abzielen, der Atmosphäre Kohlenstoff zu entziehen und diesen dauerhaft zu speichern. Auch dazu gibt es eine Vielzahl von Vorschlägen. Viel diskutiert wurde insbesondere die Eisendüngung solcher Regionen der Weltmeere, in denen das Algenwachstum und damit die Photosynthese und die Umwandlung von CO₂ in organischen Kohlenstoff durch Eisenmangel limitiert sind. Im Gegensatz zu RM-Methoden, bei denen die Forschung bisher hauptsächlich auf Computersimulationen beschränkt ist, hat es zur Eisendüngung seit Beginn der 1990er Jahre verschiedene Feldexperimente gegeben, mit sehr unterschiedlichen Resultaten. Es hat sich beispielsweise gezeigt, dass der Effekt vom Silikatgehalt der gedüngten Region abhängig ist, der wiederum die Art des Planktons beeinflusst, das nach der Düngung bevorzugt gebildet wird. Es ist zu erwarten, dass die Eisendüngung die Nahrungskette im Ozean beeinflusst mit bei globaler Anwendung schwer abschätzbaren Konsequenzen. Eine andere Methode des CDR ist die eingangs erwähnte Nutzung von Biomasse zur

Energiegewinnung bei Abscheidung und Speicherung des Kohlenstoffs (BECCS). Probleme dieser Methode sind die Konkurrenzsituation mit der Nahrungsmittelproduktion bei der Nutzung von Anbauflächen und die dauerhafte Speicherung des Kohlenstoffs. Zuletzt sei noch der Vorschlag der Aufforstung genannt. Tatsächlich ist insbesondere bei Wiederaufforstung gerodeter Waldflächen mit einer verstärkten Bindung von Kohlenstoff in der Biomasse zu rechnen. Die Klimaeffekte hängen jedoch stark von der Region ab, in der die Aufforstung vorgenommen wird. Werden helle Flächen aufgeforstet, beispielsweise in hohen Breiten, die über längere Zeiträume schneebedeckt sind, oder Wüstengebiete, so wird der Anteil der vom Boden reflektierten Sonnenstrahlung verringert, was eine Erwärmung zur Folge hätte!¹⁹.

Insgesamt mögen CDR-Maßnahmen, da sie die Ursache des Klimawandels angreifen, zunächst sympathischer erscheinen als RM-Maßnahmen. Allerdings muss man davon ausgehen, dass CDR nur langsam greifen würde. Auch wird das Potenzial allgemein als relativ gering angesehen. Aufgrund technischer und natürlicher Einschränkungen geht eine kürzlich veröffentlichte Studie²⁰ beispielsweise davon aus, dass einzelne Methoden jeweils nur einen kleinen Teil der aktuellen jährlichen CO₂-Emissionen kompensieren könnten. Nach jener Studie könnte SRM gleichzeitig als CDR-Methode mit dem größten Potenzial angesehen werden, da durch eine globale Abkühlung der Kohlenstoffaustausch zwischen Atmosphäre und Ozean in Richtung geringerer Atmosphärenkonzentrationen verschoben würde.

3. Völkerrechtliche Aspekte des Climate Engineering

Da die angedachten Maßnahmen des Climate Engineering entweder in den Ozeanen stattfinden oder zumindest grenzüberschreitende Auswirkungen haben, erscheint es geboten, diese am Völkerrecht zu messen. Es gibt bislang keinen völkerrechtlichen Vertrag oder eine Stellungnahme einer internationalen Organisation, die sich grundsätzlich mit Climate Engineering befasst. Dennoch sind eine Reihe von internationalen Abkommen einschlägig oder können es zumindest sein, wie zu zeigen sein wird. Von Belang sind zudem umweltrechtliche Prinzipien, soweit sie sich als Völkergewohnheitsrecht verfestigt haben.

3.1 CDR-Methoden und deren rechtliche Bewertung

Die CDR-Technologien streben, wie bereits gesagt, eine Reduktion der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre an, zum Beispiel mittels einer erhöhten CO₂-Einlagerung in den Ozeanen durch eine Düngung mit Eisen, Phosphor und/oder Stickstoff. Maßgeblich für die Zulässigkeit/Unzulässigkeit sind das UN-Seerechtsübereinkommen von 1982 (SRU),²¹ das Londoner Übereinkommen über die Verhütung der Meeresverschmutzung (1972)²² sowie dessen Protokoll von 1996²³ und die Biodiversitätskonvention (1992).²⁴

Entscheidend ist, ob die Düngung als Einbringen im Sinne des Seerechtsübereinkommens²⁵ bzw. des Londoner Übereinkommens²⁶ und des Protokolls²⁷ zu sehen ist.²⁸ Zwar werden Eisen, Phosphor oder Stickstoff in das Meer «eingbracht», aber nicht jedes Einbringen ist als Verklappung zu qualifizieren. So werden diese Stoffe nicht eingebracht, um sie zu entsorgen, was eine Voraussetzung für eine verbotene Verklappung wäre. Zudem darf ein Einbringen nicht den Zielen des jeweiligen Übereinkommens widersprechen. Dies wäre der Fall, wenn die Einbringung dieser Substanzen schädigende Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, lebende Ressourcen oder marine Lebewesen hätte.²⁹ Allerdings gibt das Protokoll einen Hinweis für die ausnahmsweise Zulässigkeit des Einbringens. Danach können bestimmte träge, anorganische geologische Stoffe eingebracht werden.³⁰ Ein weiterer Hinweis auf eine bedingte Zulässigkeit ergibt sich aus der Resolution LC-LP.1 (2008) der gemeinsamen Versammlung der Mitgliedstaaten des London-Übereinkommens und des Protokolls über die Ozeandüngung; diese besagt, dass derartige Aktivitäten den Zielen des Londoner Regelwerks nicht widersprechen, wenn sie als «legitimate scientific research» zu qualifizieren sind. Hierzu sind 2010 durch Resolution LC-LP.2 (2010) weitere Kriterien entwickelt worden, die vor allem sicherstellen sollen, dass es sich um objektive Forschung handelt, die nicht von kommerziellen Erwägungen getragen wird.³¹

Auch die Vertragsstaatenkonferenz der Biodiversitätskonvention geht mittlerweile von der Zulässigkeit bestimmter Forschungsexperimente aus und entschied auf der 10. Vertragsstaatenkonferenz, dass Climate Engineering «in engen Grenzen» erlaubt sei.³² Doch damit ist der Einsatz von CDR und RM nach wie vor weithin einem Moratorium unterworfen. Zudem sind diese Entscheidungen der Vertragsstaatenkonferenz rechtlich unverbindlich.

Insbesondere die Diskussion um die Düngung der Ozeane lässt deutlich werden, dass es unterschiedliche Interessen gibt, die letztlich maßgeblichen Einfluss auf die Entscheidung haben werden, ob und unter welchen Voraussetzungen diese Technik Ozeandüngung eingesetzt werden kann, um den Gehalt von CO_2 in der Atmosphäre zu verringern. Angesichts der diametral unterschiedlichen Interessen wird eine Entscheidung über eine völkerrechtliche Zulässigkeit/Unzulässigkeit der Ozeandüngung sich vergleichbaren Schwierigkeiten gegenübersehen wie die Verhandlungen um eine Verringerung der CO_2 -Emissionen.

Eine weitere Möglichkeit, die CO_2 -Speicherfähigkeit der Ozeane zu erhöhen, ist der Einsatz von Pumpsystemen auf Hoher See und in den Ausschließlichen Wirtschaftszonen, durch die nährstoffreiches Tiefseewasser an die Oberfläche befördert wird. Soweit dadurch nicht die anerkannten Freiheiten der Hohen See³³ unverhältnismäßig eingeschränkt werden, bestehen gegen derartige Maßnahmen keine durchgreifenden völkerrechtlichen Bedenken.³⁴ In den Ausschließlichen Wirtschaftszonen könnten allerdings die Fischereinteressen der jeweiligen Küstenstaaten entgegenstehen.³⁵

Das Problem eines Einsatzes von Pumpsystemen auf Hoher See ist anderer Natur als das der Ozeandüngung. Hier stellt sich die Frage nach dem Schutz der Pumpsysteme. Das Seerechtsübereinkommen sieht die Errichtung derartiger Anlagen auf Hoher See nicht vor. Daher ist unklar, wer die Jurisdiktion über derartige Pumpsysteme ausüben könnte, solange sie nicht von Schiffen aus betrieben werden. In diesen Fällen käme das Flaggenstaatsprinzip zur Anwendung, das die entsprechenden Verantwortlichkeiten regelt.

Die angedachte Beschleunigung der Carbonisierung durch Erhöhung der Alkalinität des Ozeans durch die Zugabe von Kalziumoxid, Kalziumhydroxid oder Kalziumkarbonat, bestimmt sich grundsätzlich – ebenso wie die Ozeandüngung – nach dem Seerechtsübereinkommen, ergänzt durch die Vorgaben des Londoner Übereinkommens und dessen Protokolls sowie der Biodiversitätskonvention. Auch bei dieser Technologie ist entscheidend, ob die Zugabe als Einbringen zu qualifizieren ist.

3.2 RM-Technologien und deren rechtliche Bewertung

Unter RM-Technologien werden, wie oben angesprochen, Maßnahmen diskutiert, die den Strahlungshaushalt der Erde beeinflussen: Dazu zählen reflektierende Aerosole in der Stratosphäre, die Modifikation von

marinen Schichtwolken und/oder Zirruswolken und sonstige Technologien. Dieser Differenzierung soll auch die völkerrechtliche Würdigung folgen.

Da die Stratosphäre aus völkerrechtlicher Sicht nicht zum Weltraum gehört, ist in Bezug auf die Injektion von Schwefel das Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverschmutzung (1979)³⁶ einschlägig, welches allerdings nicht universell gültig ist. Zunächst wird das Einbringen von Schwefelpartikeln in die Stratosphäre von diesem Übereinkommen erfasst; dies besagt aber nicht automatisch die Völkerrechtswidrigkeit des Einbringens, sondern setzt vielmehr den konkreten Nachweis der Schädlichkeit voraus. Etwas anderes ergibt sich auch nicht notwendigerweise aus den Protokollen des Übereinkommens,³⁷ wenn die dort festgeschriebenen Grenzwerte für Schwefelemissionen nicht überschritten werden.

Einschlägig sind auch das Wiener Übereinkommen zum Schutz der Ozonschicht (1985)³⁸ und dessen Protokoll von Montreal (1987)³⁹. Beide Übereinkommen sind weltweit gültig und schützen die Ozonschicht. Doch während das Wiener Übereinkommen nur zu einer entsprechenden Kooperation verpflichtet, sieht das Protokoll konkrete Reduktionsziele vor und gilt letztlich als das einzige effektive Abkommen zum Schutze des Weltklimas.

Sollte die Einbringung von Schwefel in die Stratosphäre zu einer Schädigung der Ozonschicht führen, liegt hierin ein Verstoß gegen das Wiener Übereinkommen und das Protokoll von Montreal, auch wenn in Letzterem Schwefel nicht genannt wird. Eine Schädigung der Ozonschicht würde aber Sinn und Zweck beider Übereinkommen diametral zuwiderlaufen. Dieser Verstoß kann auch nicht durch den Hinweis darauf gerechtfertigt werden, dass diese Einbringung in der Stratosphäre der Klimastabilisierung dient. Schutz der Ozonschicht und Stabilisierung des Weltklimas sind gleichberechtigte Ziele, die nicht gegeneinander aufgewogen werden. Dies gilt vor allem deshalb, weil die Einbringung von Schwefel in die Stratosphäre lediglich den Strahlungshaushalt zu stabilisieren versucht, ohne die Gründe für die negative Entwicklung des Strahlungshaushalts der Erde zu berühren.

Die Modifikation von Schichtwolken zur Erhöhung der Rückstrahlung kurzwelliger Strahlung bzw. von Zirruswolken, um eine langwellige thermische Abstrahlung zu erreichen, ist ebenfalls an dem Wiener Übereinkommen zum Schutz der Ozonschicht zu messen. Die Anwend-

barkeit hängt davon ab, ob die Substanzen zur Modifikation der nämlichen Wolken wahrscheinlich zu Veränderungen der Ozonschicht führen.⁴⁰ Da die marinen Schichtwolken durch eine unbemannte Flotte von Schiffen «geweißt» werden sollen, ist auch das Seerechtsübereinkommen zu berücksichtigen.

Insoweit ist der zonale Charakter des Seerechtssystems zu beachten. Das «Weißeln» von Wolken in den maritimen Eigengewässern der Küstenstaaten und in deren Küstenmeer bedarf der Genehmigung des betreffenden Küstenstaates. Die Situation in den ausschließlichen Wirtschaftszonen ist unklar. Zwar üben die Küstenstaaten in den ausschließlichen Wirtschaftszonen nur souveräne Nutzungsrechte aus, aber diese Rechte sind weit gefasst und die Küstenstaaten brauchen eine Einschränkung nur begrenzt zu dulden. Außerdem liegt der Schutz der marinen Umwelt in den ausschließlichen Wirtschaftszonen bei den Küstenstaaten. Auch wenn nach dem Wortlaut des Seerechtsübereinkommens das «Weißeln» von Wolken in den ausschließlichen Wirtschaftszonen nicht der Genehmigung der Küstenstaaten bedarf, geht doch die Tendenz zumindest des Internationalen Seegerichtshofs dahin, die Kompetenzen der Küstenstaaten im Zweifel weit auszulegen. Dies würde für die Notwendigkeit einer Genehmigung sprechen.

Dagegen wäre das «Weißeln» von Wolken auf Hoher See nicht von einer Genehmigung abhängig. Die Verantwortung liegt in diesem Fall bei dem Flaggenstaat, der diese Aktivitäten auf Hoher See kontrollieren kann. Dies liegt, angesichts der Verpflichtung, die Meeresumwelt zu schützen, in seinem besten Interesse.⁴¹

Eine Modifikation von Zirkuswolken muss sich an dem Chicagoer Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt (1944)⁴² messen lassen. Dieses ist letztlich aber wenig aussagekräftig. Entscheidend ist die Frage, ob die Freiheiten des Luftverkehrs auch Flüge zur Modifikation von Zirkuswolken erfassen.

Die Installation von Reflektoren im Weltall sind aus der Sicht des Weltraumvertrages (1967) (WRV)⁴³ und des Weltraumhaftungsübereinkommens (1972)⁴⁴ zu beurteilen. Nach Art. 1 WRV haben alle Staaten das Recht, den Weltraum zu friedlichen Zwecken zu nutzen. Dabei wird der Weltraumvertrag von dem Grundgedanken geprägt, dass diese Nutzung allen Staaten zugutekommen soll. Letztlich sind die Weltraumverträge nicht auf die Anbringung von Installationen zur Reflektion des Sonnenlichts zugeschnitten. Solange diese die bisherigen Formen der

Weltraumnutzung nicht beeinträchtigen, ist davon auszugehen, dass Weltraumvertrag und Weltraumhaftungsübereinkommen ihnen nicht entgegenstehen.

3.3 Völkergewohnheitsrecht in Bezug auf CDR- und RM-Technologien

Neben dem angesprochenen Völkervertragsrecht ist auch das Völkergewohnheitsrecht zu berücksichtigen.

Gewohnheitsrechtlich anerkannt ist das Verbot erheblicher grenzüberschreitender Umweltbelastungen. Danach ist es Staaten untersagt, auf ihren Territorien Aktivitäten nachzugehen oder zuzulassen, von denen signifikante grenzüberschreitende Umweltbelastungen ausgehen könnten. Dieser Grundsatz hat sich zu einem allgemeinen Präventionsprinzip entwickelt. Verboten ist damit aber nicht jedwede Schädigung eines Nachbarstaates.⁴⁵ Ein Staat hat allerdings alle vorbeugenden Maßnahmen zu treffen, um den Eintritt einer grenzüberschreitenden Umweltbeeinträchtigung zu verhindern. Dies schließt eine präventive Abklärung der möglichen Risiken mit ein. Insgesamt scheint das Präventionsprinzip nach seiner bisherigen Auslegung Climate-Engineering-Aktivitäten nur in Extremfällen entgegenzustehen.

Das Vorsorgeprinzip betrifft diejenigen Fälle, in denen über die Zulässigkeit von Maßnahmen zu entscheiden ist, obwohl wissenschaftliche Unsicherheit darüber besteht, ob das Risiko einer Umweltgefährdung besteht und wie weitreichend diese wäre. Die Kernelemente des Prinzips wurden in Grundsatz 15 der Rio-Erklärung über Umwelt und Entwicklung von 1992⁴⁶ festgehalten. Die Auslegung des Vorsorgeprinzips ist aber umstritten. Allgemein anerkannt ist, dass über die möglichen negativen Auswirkungen einer menschlichen Aktivität wissenschaftliche Unsicherheit besteht und schwerwiegende oder irreversible Schäden der Umwelt drohen. Darüber hinaus wird befürwortet, dass nach dem Vorsorgeprinzip der Betreiber der geplanten Maßnahmen deren Unschädlichkeit darlegen muss. Diese Sicht hat sich in der Rechtsprechung der internationalen Gerichte⁴⁷ bisher nicht durchgesetzt. Auch umstritten ist, ob das Vorsorgeprinzip wirklich im internationalen Gewohnheitsrecht verankert ist. Während der IGH dies bezweifelt, geht die Kammer für Meeresbodenstreitigkeiten davon aus, dass das Vorsorgeprinzip als integraler Bestandteil der generellen *Due-diligence*-Verpflichtung anzusehen und damit Teil des Völkergewohnheitsrechts ist.⁴⁸

Inwieweit das Vorsorgeprinzip Climate-Engineering-Aktivitäten einschränkt oder ausschließt, ist schwer abzusehen. Dies wird wesentlich von der weiteren Erforschung dieser Aktivitäten abhängen, der Einschätzung der damit verbundenen Risiken sowie – sozusagen als Gegengewicht – der Einschätzung von deren Potenzial, die Klimaveränderungen aufzuhalten oder zu verlangsamen. Grundsätzlich wird man aber sagen müssen, dass CDR-Technologien, die die Wurzel der Klimaveränderungen angreifen, in diesem Abwägungsprozess ein höheres Gewicht haben als RM-Technologien, die nur Symptome der CO₂-Emissionen angreifen.

4. Schlussbemerkung

Die Diskussion der möglichen Nutzung von Climate-Engineering-Maßnahmen steht erst am Anfang. Neben klimawissenschaftlichen und völkerrechtlichen Aspekten werden auch ethisch-moralische,⁴⁹ ökonomische, technische und politische Fragen diskutiert. Es ist inzwischen jedoch klar, dass die verallgemeinernde Diskussion unter dem Sammelbegriff Climate Engineering den sehr unterschiedlichen Vorschlägen häufig nicht gerecht wird. Bezüglich CDR-Maßnahmen sind in naturwissenschaftlicher Hinsicht vor allem das Potenzial und die Nebenwirkungen strittig. Für den Vorschlag der Ozeandüngung hat es bereits Feldexperimente gegeben, die diesen Aspekten nachgehen. Die naturwissenschaftliche Forschung zu RM-Techniken beschränkt sich bisher auf Computersimulationen, um vor allem die Frage zu beantworten, welches Klima mit einem zukünftigen Einsatz erzeugt würde. Denn zumindest ist klar, dass per RM kein historisches Klima rekonstruiert werden könnte. Die bisherige Forschung hat diverse Risiken und Nebenwirkungen aufgezeigt, allerdings auch Verständnislücken, die die Abwägung der Konsequenzen des Climate Engineering erschweren. Diese Verständnislücken betreffen häufig nicht speziell nur Climate Engineering, sondern die Klimaforschung allgemein: zum Beispiel im Hinblick auf die Wechselwirkung zwischen Aerosolen und Wolken oder die Kopplung zwischen Stratosphäre und Troposphäre. Angesichts der bestehenden Unsicherheiten und der jetzt schon bekannten Nebenwirkungen erscheint eine Einschränkung der Anstrengungen, die Treibhausgasemissionen zu reduzieren, in der Hoffnung

auf eine Lösung des Klimaproblems per Climate Engineering nicht gerechtfertigt.

Da die Entwicklung von einsetzbaren Climate-Engineering-Techniken noch nicht weit fortgeschritten ist, ist es nicht verwunderlich, dass der Rechtsrahmen, innerhalb dessen diese Techniken möglicherweise einmal eingesetzt werden könnten, noch nicht existiert. Bislang ist es lediglich möglich, auf das allgemeine Völkerrecht, das Umweltvölkerrecht und das internationale Seerecht zurückzugreifen, die nicht auf diese neuen Techniken zugeschnitten sind. Dies ist ein bekanntes Phänomen. Oft hinkt die Entwicklung einer Rechtsordnung technischen und wissenschaftlichen Entwicklungen hinterher. Dies ist eher positiv zu sehen: Eine technische Entwicklungen antizipierende Rechtsordnung begründet eher die Gefahr, die wissenschaftliche Entwicklung zu behindern. Ansätze in Bezug auf Climate Engineering bestehen bereits, wie die Resolutionen der Vertragsstaaten zu dem Londoner Übereinkommen über die Verhütung der Meeresverschmutzung und die Entscheidungen der Vertragsstaatenkonferenz zu der Biodiversitätskonvention belegen.

Sollte der Versuch unternommen werden, Techniken des Climate Engineering völkerrechtlich abzusichern, wird man politisch vor den gleichen Problemen stehen wie bei dem Versuch einer Reduktion von CO₂-Emissionen.

- 13 (a) G. Gahleitner, *International Journal of Hydrogen Energy* 2013, 38, 2039–2061; (b) R. Kothari, D. Buddhi, R. L. Sawhney, *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 2008, 12, 553–563.
- 14 J. Burger, E. Strofer, H. Hasse, *Chemical Engineering Research & Design* 2013, 91, 2648–2662.
- 15 (a) R. Rinaldi, N. Meine, J. vom Stein, R. Palkovits, F. Schüth, *ChemSuschem*, 3, 266–276; (b) G. W. Huber, S. Iborra, A. Corma, *Chemical Reviews* 2006, 106, 4044–4098.
- Climate Engineering aus klimawissenschaftlicher und völkerrechtlicher Perspektive**
- 1 Ich danke Frau Dr. Ulrike Niemeier für die kritische Durchsicht des Textes.
- 2 Ich danke Frau Barbara Schwaiger für die wertvolle Hilfe bei der Erstellung der Endfassung.
- 3 Zu verschiedenen Definitionen des Begriffs siehe Boucher et al. (2014).
- 4 Siehe dazu u. a. Gemeinsame Stellungnahme des Nationalen Komitees für Globale Change Forschung, der DFG Senatskommission für Ozeanographie und der Senatskommission für Zukunftsaufgaben der Geowissenschaften über Climate Engineering: Forschungsfragen einer gesellschaftlichen Herausforderung (2012).
- 5 BECCS: «Biomass Energy with Carbon Capture and Storage»; d. h. die Abscheidung und Speicherung von CO₂, das bei der Verbrennung von Biomasse zur Energiegewinnung entsteht.
- 6 Für eine ausführliche Diskussion der Kategorisierung siehe: Boucher et al. (2014).
- 7 Shepherd et al. (2009).
- 8 Rickels et al. (2011).
- 9 GAO (2011).
- 10 Fleming (2010).
- 11 President's Science Advisory Committee (1965).
- 12 Crutzen (2006).
- 13 Budyko (1977).
- 14 Mitchell and Finnegan (2009).
- 15 Robock (2000).
- 16 Latham (1990).
- 17 Für eine Übersicht von Ergebnissen dieses Projekts siehe: Kravitz et al. (2013).
- 18 Niemeier et al. (2013).
- 19 Bathiany et al. (2010).
- 20 Keller et al. (2014).
- 21 UN-Seerechtskonvention vom 10. Dezember 1982, UNTS, Vol. 1833, S. 3.
- 22 Londoner Übereinkommen über die Verhütung der Meeresverschmutzung durch das Einbringen von Abfällen und anderen Stoffen vom 13. November 1972, 11 ILM 1291 (1972).

- 23 Protokoll zum Londoner Übereinkommen 1972 vom 7. November 1996, 36 ILM 1 (1997).
- 24 Biodiversitätskonvention vom 5. Juni 1992, UNTS, Vol. 1760, S. 79.
- 25 Art. 1 Abs. 1 Z 5 lit a SRU.
- 26 Art. 3 Abs. 1 lit a Londoner Übereinkommen über die Verhütung der Meeresverschmutzung.
- 27 Art. 1 Abs. 4.1.1 Protokoll zum Londoner Übereinkommen von 1972.
- 28 Siehe dazu Alexander Proell/Kerstin Güssow, Climate Engineering. Instrumente und Institutionen des internationalen Rechts, Studie im Auftrag des BMBF, (2011).
- 29 Diese umweltbezogene und gesundheitliche Unbedenklichkeit ist bislang nicht auszuschließen.
- 30 Seit Neuestem gilt dies auch für «carbon dioxide streams from carbon dioxide capture processes for sequestration».
- 31 Dies sagt aber noch nichts darüber, ob eine Ozeandüngung jenseits wissenschaftlicher Forschung akzeptiert werden wird.
- 32 Siehe dazu Decision X/53 on Biological Diversity and Climate Change, UNEP/CBD/COP/DEC/X/53 vom 29. Oktober 2010.
- 33 Gemäß Art. 87 Abs. 1 lit a bis f SRU zählen zu diesen unter anderem Schifffahrt, Fischfang, Forschung und Meeresbergbau.
- 34 Dies gilt umso mehr, als es in den Ozeanen Stellen gibt, an denen das Tiefenwasser durch natürliche Prozesse an die Oberfläche tritt.
- 35 Siehe Art. 56 Abs. 1 SRU.
- 36 Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung vom 13. September 1979, UNTS, Vol. 1302, S. 217.
- 37 Zum Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung sind acht Protokolle verabschiedet worden, wobei sich diese nicht direkt mit Climate Engineering oder Klimawandel beschäftigen. Drei der Protokolle enthalten aber Regelungen zu Schwefelemissionen bzw. Emissionshöchstgrenzen: Protokoll betreffend die Verringerung von Schwefelemissionen oder ihres grenzüberschreitenden Flusses um mindestens 50 von Hundert vom 8. Juli 1985, 27 ILM 707 (1988); Protokoll betreffend die weitere Verringerung von Schwefelemissionen vom 13. Juni 1994, 33 ILM 1542 (1994); Protokoll zur Bekämpfung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon vom 30. November 1999, BGBl. 2004 II, S. 884.
- 38 Wiener Übereinkommen zum Schutz der Ozonschicht vom 22. März 1985, 26 ILM 1529 (1987).
- 39 Montreal-Protokoll über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen vom 16. September 1987, 26 ILM 1550 (1987).
- 40 Dieses erscheint nach dem gegenwärtigen Stand der Wissenschaft nicht als wahrscheinlich, kann aber noch nicht abschließend beurteilt werden.
- 41 Siehe dazu Art. 192 ff. SRU.
- 42 Chicagoer Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt vom 7. Dezember 1944, UNTS, Vol. 15, S. 295.

- 43 Vertrag über die Grundsätze zur Regelung der Tätigkeiten von Staaten bei der Erforschung und Nutzung des Weltraums einschließlich des Mondes und anderer Himmelskörper vom 27. Januar 1967, 6 ILM 363 (1967).
- 44 Übereinkommen über die völkerrechtliche Haftung für Schäden durch Weltraumgegenstände vom 29. März 1972, UNTS, Vol. 961, S. 187.
- 45 Dies hat der Internationale Gerichtshof in der umstrittenen Pulp-Mills-Entscheidung dementsprechend ausgelegt, siehe: IGH, Pulp Mills on the River Uruguay (*Argentina v. Uruguay*) vom 20. April 2010.
- 46 Der Grundsatz 15 der Rio-Erklärung über Umwelt und Entwicklung vom 14. Juni 1992, 31 ILM 874 (1992) besagt: »In order to protect the environment, the precautionary approach shall be widely applied by all States according to their capabilities. Where there are threats of serious or irreversible damage, lack of full scientific certainty shall not be used as a reason for postponing cost-effective measures to prevent environmental degradation.«
- 47 Dies betrifft insbesondere die Rechtsprechung des IGH und des Internationalen Seegerichtshofs.
- 48 Kammer für Meeresbodenstreitigkeiten des Internationalen Seegerichtshofs, Responsibilities and Obligations of States Sponsoring Persons and Entities with Respect to Activities in the Area, Case No. 17, Advisory Opinion, vom 1. Februar 2011, para. 131.
- 49 Siehe z. B. Hamilton (2013).
- Bathiany, S., M. Claussen, V. Brovkin, T. Raddatz & V. Gayler: »Combined biogeophysical and biogeochemical effects of large-scale forest cover changes in the MPI earth system model.« *Biogeosciences*, 7, 1383–1399, 2010.
- Boucher, O., P.M. Forster, N. Gruber, M. Ha-Duong, M.G. Lawrence, T.M. Lenton, A. Maas, and N.E. Vaughan. »Rethinking climate engineering categorization in the context of climate change mitigation and adaptation.« *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 5, no. 1, 23–35, 2014.
- Budyko, M.I.: »Climatic changes.« American Geophysical Union, 1977.
- Cruzten, P.J.: »Albedo Enhancement by stratospheric sulfur injections: A contribution to resolve a policy dilemma?« *Climatic Change*, 77, 211–220, 2006.
- Fleming, J.R.: »Fixing the Sky – the checkered history of weather and climate control«, Columbia University Press, New York, 2010.
- GAO: Technology assessment: »Climate Engineering: Technical status, future directions and potential responses«, US Government Accountability Office, Washington, USA, 2011.
- President's Science Advisory Committee: »Restoring the Quality of Our Environment«, Report of the Environmental Pollution Panel, Washington, DC, 1965.
- Mitchell, D.L., & W. Finnegan: Modification of cirrus clouds to reduce global warming. *Environmental Research Letters*, 4(4), 045102, 2009.
- Hamilton, C.: »Earthmasters: The Dawn of the Age of Climate Engineering«, Yale University Press, 2013.
- Keller, D., Y. Feng, Y., & A. Oeschles: »Potential climate engineering effectiveness and side effects during a high CO₂-emissions scenario: a comparative assessment.« *Nature Communications*, 5 (3304), pp. 1–11, 2014.
- Kravitz, B., A. Robock, P.M. Forster, J.M. Haywood, M.G. Lawrence, and H. Schmidt, An overview of the Geoengineering Model Intercomparison Project (GeoMIP). *Journal of Geophysical Research*, 118, 13103–13107, 2013.
- Latham, J.: »Control of global warming?« *Nature*, 347, 339–340, 1990.
- Niemeier, U., H. Schmidt, K. Alterskjær & J.E. Kristjánsson: »Solar irradiance reduction via climate engineering: Impact of different techniques on the energy balance and the hydrological cycle.« *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(21), 11–905, 2013.
- Rickels, W., Klepper, G., Dovern, J., Betz, G., Brachtzke, N., Cacean, S., Güssow, K., Heintzenberg, J., Hiller, S., Hoose, C., Leisner, T., Oeschles, A., Platt, U., Proells, A., Renn, O., Schäfer, S., and Zürn, M.: »Large-Scale Intentional Interventions into the Climate System? – Assessing the Climate Engineering Debate.« Scoping report conducted on behalf of the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF), Kiel Earth Institute, Kiel, Germany, 2011.
- Robock, A.: »Volcanic eruptions and climate.« *Reviews of Geophysics*, 38, 191–219, 2000.
- Shepherd, J., Caldeira, K., Cox, P., Haigh, J., Keith, D., Launder, D., Mace, G., MacKerron, G., Pyle, J., Rayner, S., Redgwel, C., and Watson, A.: »Geoengineering the Climate: Science, Governance and Uncertainty.« The Royal Society, London, UK, 2009.

Manfred Milinski (geb. 1950 in Oldenburg) studierte Biologie und Mathematik in Bielefeld und Bochum. 1978 promovierte er in Bochum in Zoologie. Nach einer Forschungstätigkeit als Heisenberg-Stipendiat an der Universität Oxford in Großbritannien wurde er 1987 Direktor am Zoologischen Institut und Leiter der Abteilung Wirbeltierbiologie und Verhaltensökologie an der Universität Bern in der Schweiz. 1999 wurde er zum Direktor am Max-Planck-Institut für Limnologie (heute MPI für Evolutionsbiologie) in Plön berufen. Er hat zwei Forschungsbereiche. (1) Er untersucht experimentell wie Ko-Evolution zwischen Parasiten und ihren Wirten zur Optimierung des Immunsystems und zu olfaktorischer Partnerwahl führt. (2) In Zusammenarbeit mit Evolutionstheoretikern, Ökonomen und Klimaforschern untersucht er mit Methoden der experimentellen Ökonomie, wie Menschen sich in Situationen verhalten, in denen das Eigeninteresse im Widerspruch zum Interesse der Gruppe steht, z. B. bei der Entscheidung, eigenes Geld in den Klimaschutz zu investieren. Seit 2010 ist er Mitglied in der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina.

Jan Christoph Minx (geb. 1976 in Mannheim) leitet die Technical Support Unit der Arbeitsgruppe III des Weltklimarates. Er koordinierte mit seinem Team die Erstellung des Fünften Sachstandsberichtes (AR5). Minx studierte von 1998–2002 Volkswirtschaftslehre, Sozialwissenschaft und Umweltökonomik an den Universitäten in Köln und York. Er promovierte 2008 in Umweltökonomik und Umweltmanagement zur Nutzung von integrierten Datensystemen in monetären, physischen und zeitlichen Einheiten für die Erforschung von Systemen der nachhaltigen Produktion und des nachhaltigen Konsums. Zwischen 2007 und 2011 arbeitete er als Senior Research Fellow am Stockholm Environment Institute und an der Technischen Universität Berlin und leitete in diesem Rahmen zahlreiche Projekte in den Bereichen Nachhaltigkeit und Klima. Er ist Autor zahlreicher wissenschaftlicher Studien und Mitglied des Editorial Board von Economic Systems Research.

Andrea Pozzer (geb. 1979 in Verona, Italien) ist Arbeitsgruppenleiter am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz. Er studierte Physik an der Universität Padua und promovierte in Meteorologie an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz (2007). Nach Postdoc-Tätigkeiten am «Cyprus Institute» in Nicosia und am «Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics» in Triest, wechselte er nach Mainz, wo er seit 2012 als Leiter der Arbeitsgruppe «Numerische Modellierung» in der Abteilung Atmosphärenchemie tätig ist. Seine Gruppe entwickelt und benutzt numerische Modelle, um Beobachtungsdaten, die bei Feldmesskampagnen und/oder durch Fernerkundungssatelliten gewonnen wurden, zu reproduzieren, analysieren und interpretieren.

Markus Reichstein (geb. 1972 in Kiel) studierte Landschaftsökologie mit den Nebenfächern Chemie, Botanik und Informatik in Münster. 2001 promovierte er in Bayreuth am Lehrstuhl für Pflanzenökologie. Nach Forschungstätigkeiten in Viterbo in Italien sowie an den Universitäten von Missoula und Berkeley (USA)

wurde er 2006 zum Max-Planck-Forschungsgruppenleiter und 2012 zum Direktor am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena berufen. Im 2012 erschienenen Sonderbericht des Weltklimarates IPCC über Klimawandel und Extremereignisse war er als Leitautor tätig. In seiner Forschung benutzt er Beobachtungen, Experimente und Modellsimulationen, um die Wechselwirkung zwischen Klima und Landbiosphäre zu untersuchen. Ein wichtiger Schwerpunkt dabei ist der Boden und seine Rolle für den Wasser- und Kohlenstoffkreislauf. Er hat neben anderen Preisen den Max-Planck-Forschungspreis der Alexander-von-Humboldt-Stiftung im Jahr 2013 für seine Arbeiten zum Einfluss des Klimawandels auf Ökosysteme erhalten.

Robert Schlögl (geb. 1954 in München) studierte Chemie an der Ludwig-Maximilians-Universität in München, wo er 1982 mit Beiträgen zur Interkalationschemie in Graphit promovierte. Nach Studienaufenthalten in Cambridge und Basel habilitierte er von 1986–89 bei Professor Ertl am Fritz-Haber-Institut in Berlin. Danach nahm er einen Ruf als C4-Professor für Anorganische Chemie an der Universität Frankfurt an, bevor er 1994 als Direktor an das Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft berufen wurde. Schwerpunkt seiner Forschung ist die heterogene Katalyse, insbesondere die Verknüpfung von wissenschaftlicher Durchdringung mit technischer Anwendbarkeit, sowie Fragestellungen zur Entwicklung nanochemisch optimierter Materialien für Energiespeicherkonzepte. Seit 2011 ist er Gründungsdirektor am Max-Planck-Institut für chemische Energiekonversion in Mülheim a. d. Ruhr. Robert Schlögl ist Autor von etwa 900 Veröffentlichungen und Erfinder in mehr als 20 Patentfamilien. Er ist Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften Leopoldina, der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech), Fellow der Royal Society of Chemistry und zahlreicher weiterer nationaler und internationaler Organisationen. Seine wissenschaftlichen Leistungen wurden durch verschiedene nationale und internationale Preise geehrt.

Hauke Schmidt (geb. 1968 in Lübeck) ist stellvertretender Direktor der Abteilung «Atmosphäre im Erdsystem» und Leiter der Arbeitsgruppe «Mittlere und Hohe Atmosphäre» am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg. Er forscht mit Hilfe von Computermodellen zu Einflüssen natürlicher und anthropogener Antriebe auf die mittlere Atmosphäre und zur Relevanz dieser Einflüsse für das bodennahe Klima. Zuvor war er am «Laboratoire de Météorologie Dynamique» in Paris und am «National Center for Atmospheric Research» in Boulder, Colorado, tätig. An der Universität zu Köln studierte er Geophysik und promovierte zu Datenassimilationsmethoden für Luftverschmutzungsmodelle.

Koko Warner erforscht die Auswirkungen des Klimawandels auf Gesellschaften weltweit. Sie ist Leiterin der «Munich Climate Insurance Initiative», eines Innovationslabors, das Strategien des Managements von Klimarisiken in der Praxis testet. Über diese Forschungsergebnisse und mögliche Lösungsansätze berichtet sie auf

nationalen und internationalen Klimakonferenzen. Koko Warner ist zudem Leitautorin in der Arbeitsgruppe «Anpassung» des Fünften Sachstandsberichts des IPCC. Das International Council of Science zählte sie kürzlich zu den 20 wichtigsten Frauen weltweit, die die Debatte über den Klimawandel vorantreiben.

Rüdiger Wolfrum (geb. 1941 in Berlin) hat in Bonn und Tübingen Jura studiert, wurde 1973 promoviert und 1980 für Öffentliches Recht einschließlich Völkerrecht habilitiert. Er war Professor für Öffentliches Recht und Völkerrecht an der Universität Mainz (1982), danach ordentlicher Professor an der Universität Kiel (1982–1993), Direktor am Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht und ordentlicher Professor an der Universität Heidelberg (1993–2012), Vizepräsident der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V. (2002–2006). Er ist Richter am Internationalen Seegerichtshof. Hauptinteressen- und Publikationsgebiete: Völkerrecht, Seerecht, internationales und nationales Umweltrecht.

Die Beiträge von George Coupland und Martin Koonenef sowie Koko Warner wurden aus dem Englischen übersetzt von BAKER & HARRISON Fachübersetzungen.

Redaktionsanschriften des C.F. Beckh

Aus dem Verlagsprogramm

Jürgen Kuhlmann

Die verbotene Welt der Quanten

Die Erfindung

2. Auflage, 2012, 302 Seiten mit 26 Abbildungen und 7 Tabellen

Paperback

Beck'sche Reihe Band 1523

Wolfgang Iser

Das paralytische Theorem

Das Scheitern der Genialität und der Kampf um die Autoritätsetzungen

Aus dem Englischen von Friedrich Pflüger und Norbert Abraham

2014, 120 Seiten, Gebunden

Ulrich Gumbert

Robert Einstein

2014, 120 Seiten, Paperback

Beck'sche Reihe Band 1529

Peter-Günther Ferdinand Schütz (Hrsg.)

Die Zukunft der Energie

Die Zukunft der Wassermacht

Ein Report der Max-Planck-Gesellschaft

2008, 224 Seiten mit 46 Abbildungen, davon 21 in Farbe, und

8 Tabellen, Paperback

David J. Handl

Die Macht des Umweltrechtswissenschaftlers

Warum Politik, Wandel und unglaubliche Dinge jenseits des Gesetzes

Aus dem Englischen von Werner Söllner

2014, 204 Seiten mit 5 Abbildungen und 3 Tabellen, Gebunden

Garybert Heinecke

Das Scheitern des Lebensmittels

Die Rolle des Lebensmittels

4. durchgesehene Auflage, 2009, 284 Seiten mit 46 Abbildungen,

davon 21 in Farbe, und 7 Tabellen, Gebunden

Verlag C.F. Beck