Hauchdünn ist die Erdatmosphäre – und stark gefährdet. Daher arbeiten Forscher an Techniken, um den vom Menschen verursachten Klimawandel entgegenzuwirken. Gleichzeitig gilt es, für solche Großversuche die rechtlichen Grundlagen zu schaffen.

Wenn der Mensch **das Klima lenkt**

Die Aussichten stehen auf Erwärmung, das globale Klima ändert sich. Wissenschaftler arbeiten daran, den Kohlenstoff-Kreislauf positiv zu beeinflussen. Doch lassen sich solche Verfahren – so sie überhaupt funktionieren – mit internationalen Normen vereinbaren? Das untersuchen Forscher wie **David Reichwein** vom **Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht** in Heidelberg.

TEXT **BIRGIT FENZEL**

Kontrolle über das Klima ist ein uralter Menschheitstraum. In vielen Kulturen gab es Regenmacher, die mit spirituellen Kräften die Wettergötter gnädig zu stimmen versuchten. In der modernen Welt haben Klimaingenieure diese Rolle übernommen. Längst geht es nicht mehr bloß um Verfahren, mit denen sich Wolken „melken", Hitzewellen abkühlen oder Stürme mildern lassen. Die Forscher suchen nach neuen Techniken, um unerwünschten Effekten des vom Menschen verursachten Klimawandels entgegenzuwirken.

Dieses Climate oder Geo Engineering gilt manchen als Wunderwaffe, die neben der Reduzierung von Treibhausgas und Anpassungsstrategien einen dritten Weg im Kampf gegen den bedrohlichen Anstieg der Temperaturen auf der Erde eröffnen könnte. Auch glauben längst nicht mehr alle daran, dass sich allein durch das Absenken der Kohlendioxid-Emissionen die globale Erwärmung aufhalten lässt.

Auf der Suche nach einer Klimaanlage für den Planeten scheinen dem Erfindungsreichtum der Geo-Ingenieure keine Grenzen gesetzt. Immer wieder sorgen sie mit neuen Vorschlägen für Schlagzeilen und kontroverse Diskussionen. Die Maßnahmen lassen sich grob in zwei Kategorien einteilen: Solche, die eine weitere Erwärmung der Erde durch eine Reduktion der Sonneneinstrahlung verhindern wollen, und solche, mit denen künstlich versucht werden soll, das emittierte Kohlendioxid wieder aus der Luft zu holen. Ein Beispiel für Letzteres bietet der Vorschlag, durch Eisendüngung das Wachstum von Meeresalgen zu fördern, die dafür wiederum hohe Mengen des Treibhausgases verbrauchen. Wenn die Algen absterben, verschwindet das Kohlendioxid mit den Überresten der Pflanze auf dem Meeresgrund.

Dass diese einleuchtende Lösung in der Praxis unverhoffte Resultate erbringen kann, haben die Wissenschaftler des Bremerhavener Alfred-Wegener-Instituts mit ihrem Experiment Lohafex beobachten dürfen. Sie hatten im Südatlantik östlich der Falklandinseln auf einer Fläche von etwa 300 Quadratkilometern Eisensulfat als Dünger für die Algen ins Meer gekippt. Zwar gediehen die Lebewesen nach Plan, doch tauchten plötzlich Schwärme von Kleinkrebsen auf und torpedierten mit ihrem großem Appetit das Klimaexperiment. Tatsächlich blieben am Ende nicht wesentlich mehr Algenreste übrig als ohne Dünger. So ließ sich auch nicht mehr Kohlendioxid im Ozean versenken.

KÜNSTLICHE WOLKEN SOLLEN ALS KÜHLUNG WIRKEN

Zu den Vorschlägen, die einen weiteren globalen Temperaturanstieg nicht allein durch eine Verringerung von Kohlendioxid-Emissionen verhindern wollen, gehören auch jene, die auf der Vorstellung basieren, dass sich die Erde weniger aufheizt, wenn ein höherer Anteil der Sonnenstrahlen ins All reflek-

Foto: NASA

» Das Scheitern von Geo-Engineering-Experimenten muss nicht immer so vergleichsweise harmlos verlaufen wie die Algendüngung im Südatlantik, bei der außer einigen übergewichtigen Ruderfußkrebsen kaum größerer Schaden für die Umwelt entstanden sein dürfte.

tiert wird. Diesen Effekt könnte man durch flächendeckende Installationen auf unserem Planeten erzielen – durch weiße Dächer etwa oder durch weiße Wolken, die man produziert, indem man von Schiffen aus salzhaltiges Wasser fein zerstäubt über den südlichen Ozeanen versprüht. Die Salzkristalle führten als zusätzliche Kondensationskeime bei der Verdunstung zu einer größeren Anzahl von Wassertröpfchen in den Wolken. Dadurch würden diese deutlich heller und entsprechend mehr Sonnenlicht reflektieren.

Zu den eindeutigen Favoriten der Klimaingenieure gehört jedoch der Vorschlag, mit dem der Chemie-Nobelpreisträger Paul Crutzen vor gut vier Jahren für gehörigen Wirbel gesorgt hatte: Schwefeldioxid in die obere Stratosphäre zu bringen, wo es zu Schwefelsäure oxidiert, die wiederum zu kleinen Partikeln kondensiert. Die Idee, eine Art Sonnenschirm über der Erde zu bilden, führte zu lebhaften Kontroversen unter Wissenschaftlern und in den Medien.

Historisches Ambiente: Das Marsilius-Kolleg ist im 1722 errichteten Haus Buhl untergebracht.

EIN GROSSVERSUCH MIT UNKALKULIERBAREN RISIKEN

Für diese Methode spricht nach Auffassung ihrer Anhänger, dass sie preiswert ist, sich technisch ohne größere Probleme umsetzen lässt und vor allem im Notfall schnell wirkt. Als Argument für Letzteres wird gern der Ausbruch des Vulkans Pinatubo von 1991 angeführt: Dabei waren ungefähr zehn Millionen Tonnen Schwefeldioxid in die Stratosphäre gelangt, wo sie sich durch chemische Prozesse teilweise in Sulfatpartikel umwandelten. Diese winzigen Schwebeteilchen haben nach Auffassung der Forscher dazu geführt, dass im Folgejahr die Temperatur auf der Erde um durchschnittlich 0,5 Grad Celsius zurückging.

Gegner der Klimatherapie durch Schwefeldioxid führen jedoch die Unwägbarkeit der Risiken dieses Modells ins Feld. „Niemand weiß bisher genau, welche Folgen ein solches Experiment auf das globale Klimasystem haben könnte und wie unterschiedlich einzelne Regionen davon betroffen wären“, sagt der Rechtswissenschaftler David Reichwein, der sich für seine Dissertation am Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht mit den rechtlichen Grenzen und der Regulierung des Geo Engineering beschäftigt.

Denn das Scheitern von Geo-Engineering-Experimenten muss nicht immer so vergleichsweise harmlos verlaufen wie die Algendüngung im Südatlantik, bei der außer einigen übergewichtigen Ruderfußkrebsen kaum größerer Schaden für die Umwelt entstanden sein dürfte. „Doch auch bei diesem Versuch, das Kohlendioxid aus dem Kreislauf herauszubekommen, droht bei einem großflächigen Einsatz eine erhebliche Störung des ökologischen Gleichgewichts“, so Reichwein.

Bei seinen Recherchen stieß der Forscher etwa auf verschiedene ernst zu nehmende Studien, die sich mit den unerwünschten Nebenwirkungen der Klimatherapie durch Aerosolschirme in der Stratosphäre befassen. Als Beispiel nennt er eine Studie vom November vergangenen Jahres: Auf Grundlage ihrer Modelle kommen Patricia Heckendorn vom Institute for Atmospheric and Climate Sciences der ETH Zürich und ihre Kollegen zu dem Ergebnis, dass beim Einsatz von Schwefelaerosolen in der Stratosphäre mit einem erheblichen Abbau der Ozonschicht zu rechnen ist.

Auch sind laut Reichwein nach dem Vulkanausbruch auf den Philippinen im Jahr 1991 Verschiebungen der Niederschlagszonen beobachtet worden, was bei einem groß angelegten Klima-

Foto: Marsilius Kolleg – Tobias Schwerdt

Der Völkerrechtler David Reichwein (links) befasst sich am Marsilius-Kolleg mit Ideen zur Rettung aus der Klimakrise und schätzt dabei den interdisziplinären Ansatz des jungen Teams (auf dem rechten Bild von links: Reichwein, Hannes Fernow, Wolfgang Dietz, Melanie Bräunche, Stephanie Uther, Daniel Heyen).

experiment durchaus zu den unerwünschten Nebeneffekten gehören könnte. In einem solchen Fall könnten die Folgen verheerend sein – zumindest für die Bewohner jener Regionen, die plötzlich auf dem Trockenen sitzen oder deren Felder nach Regenfluten versinken. „Das Problem hierbei ist, dass man die Folgen nicht einfach im Versuch ausprobieren kann, denn nicht alle Risiken sind im kleinen Rahmen oder in einer Simulation erkennbar“, sagt David Reichwein. „Mit dem ersten großflächigen Einsatz stellen sich auch die Konsequenzen ein.“ Zudem müsste jedenfalls die Aerosolinjektion über einen längeren Zeitraum betrieben werden, um nicht bei einem Injektionsstopp eine möglicherweise noch rasantere Erderwärmung zu bewirken.

EIN VERHALTENSKODEX FÜR DIE FORSCHUNG

Diese Unsicherheit über die Risiken und Folgen gezielter technischer Eingriffe in die Klimaanlage des Planeten treffe auf so gut wie alle Vorschläge aus dem Climate Engineering zu, sagt Reichwein. Der 24-jährige Völkerrechtler gehört zu jenem Team junger Forscher, die sich im Rahmen des Projekts „The Global Governance of Climate Engineering“ am Marsilius-Kolleg der Universität Heidelberg mit den unterschiedlichen Ideen zur Rettung aus der Klimakrise befassen. Dabei arbeiten die Wissenschaftler interdisziplinär und konzentrieren sich auf die vielfältigen Zusammenhänge zwischen technologischen, ökonomischen, kulturellen, politischen, sozialen, psychologischen und rechtlichen Aspekten.

Gemeinsames Ziel ist es, im Austausch die Chancen und Risiken eines gelenkten globalen Klimas aus einer Vielzahl von Perspektiven zu betrachten sowie einen Verhaltenskodex in der Forschung bei unkalkulierbaren Nebenwirkungen der möglichen Techniken zu erarbeiten. „Unter anderem geht es um die technisch-ökonomische Machbarkeit der Vorschläge“, sagt Reichwein. Außerdem soll untersucht werden, wie sich globale Klimamodelle mit geografischen und sozioökonomischen Daten verknüpfen lassen.

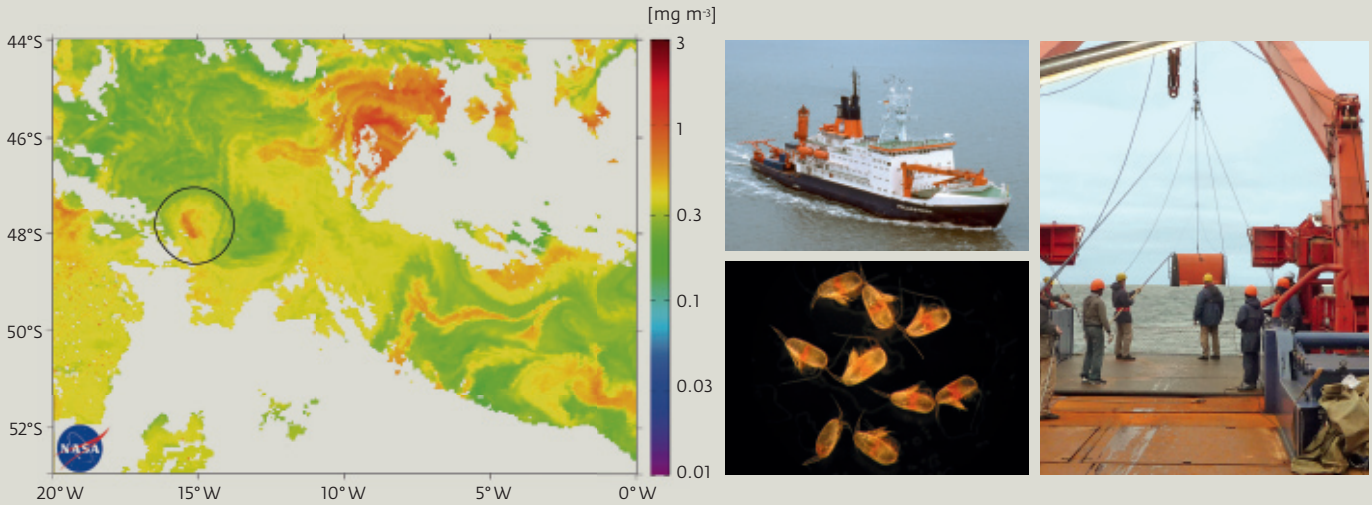
So beschäftigen sich die Umweltphysiker des Kollegs damit, realistische Szenarien für unterschiedliche Verfahren, insbesondere zur künstlichen Wolkenbildung, zu erstellen und zu vergleichen. Philosophen und Psychologen beleuchten die Wahrnehmung von Climate-Engineering-Technologien in der Bevölkerung und deren Bereitschaft, in diese zu investieren. Wirtschaftswissenschaftler untersuchen Spieltheorien zu Kosten und Nutzen sowie zur ökonomischen Machbarkeit der Techniken. Humangeografen und Politikwissenschaftler beschäftigen sich mit öffentlichen Diskursen, politischen Strategien und der räumlichen Verteilung der Folgen von Maßnahmen des Climate Engineering.

Auf Grundlage seiner Erfahrung im internationalen Seerecht und Umweltrecht beteiligt sich das Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht unter Leitung von Direktor Rüdiger Wolfrum als einzige außeruniversitäre Forschungseinrichtung an diesem Marsilius-Projekt der Heidelberger Universität. Anstoß war ein Rechtsgutachten zur Zulässigkeit der Eisendüngungsforschung. Reichweins Part in dem Gemeinschaftsprojekt liegt in der Modellierung eines möglichen völkerrechtlichen Vertrags aus politischer, ökonomischer und rechtlicher Sicht.

Inwieweit lassen sich die Forschungen und Modelle des Geo Engineering mit dem Völkerrecht vereinbaren? Das ist die Frage, mit der sich Reichwein in den nächsten drei Jahren unter anderem beschäftigen wird. „Ich finde es einfach spannend, in großen Kategorien zu denken“, begründet der Max-Planck-Forscher seine Vorliebe für globale Fragestellungen. Schon beim Studium an der Bucerius Law School in Hamburg hatte er den Schwerpunkt Europäisches und Internationales Recht gewählt. Dass er sich mit seiner Entscheidung für dieses Projekt in juristisches Neuland begibt, war ihm von Anfang an klar.

Wie weit jedoch dieses Gebiet jenseits des Bodens gesicherter Fakten und Gesetze liegt, wusste Reichwein vor einem halben Jahr noch nicht. „Sicher ist hier nur, dass nichts sicher ist“, beschreibt er die vage Ausgangslage seiner Forschungen. Diese Ungewissheit herr-

Fotos: Manuela Meyer (2)



Das Meer zum Blühen gebracht hat das Experiment Lohafex. Die mit Eisensulfat gedüngten Algen gediehen prächtig (Kreis auf der Satellitenaufnahme, links), wurden aber von Kleinkrebsen aufgefressen. Fazit: Klimaexperimente können durchaus unerwünschte Nebenwirkungen haben – und bedürfen nicht nur deshalb einer verbindlichen Rechtsgrundlage.

sche nicht nur hinsichtlich der technischen Machbarkeit und der Nebenwirkungen gezielter Klimamanipulationen, sondern erstrecke sich auch auf die juristische Ebene: „Geo Engineering hat noch keinen Eingang in völkerrechtliche Verträge gefunden."

LÜCKEN IM INTERNATIONALEN RECHT

Angesichts der globalen Dimensionen und der hohen Risiken der Klimamanipulationen stellten sich gleich eine Reihe grundsätzlicher Fragen zur Legitimation. „Wie etwa kann sichergestellt werden, dass Entscheidungen für den Einsatz einer Technik aufgrund solider wissenschaftlicher Basis gefällt werden?", so Reichwein. Für diese Grundsatzfrage gebe es im internationalen Recht noch keine Vorschrift. Außerdem müsse dringend geklärt werden, wem das Recht zustehen soll, solche möglicherweise folgenschweren Eingriffe ins Klimasystem vorzunehmen. „Darf das nur die Staatengemeinschaft oder ein Land alleine?"

Schließlich gebe es inzwischen durchaus Vorschläge, die – wie das Projekt zum Ausbringen von Schwefeldioxid in der Stratosphäre – finanziell wie auch technisch durchaus im nationalen Alleingang zu bewältigen seien. Das stellt auch einen gravierenden rechtlichen Unterschied zu den Strategien zur Kohlendioxid-Reduktion dar, die nur von der Staatengemeinschaft gemeinsam bewältigt werden können. Was aber passiert, wenn es durch den Einsatz eines solchen Verfahrens zu extremen Wetterveränderungen in anderen Regionen der Welt kommt – etwa zu Kälteeinbrüchen oder Starkregen und in Folge zu Missernten, Überflutungen oder anderen fatalen Folgen?

Mit diesen Fragen muss sich David Reichwein ebenfalls beschäftigen. Denn in einem solchen Fall benötige man auch rechtliche Grundlagen, nach denen Ansprüche auf Schadenersatz oder Kompensation für jene, deren Lebensraum durch Manipulationen des Klimas in Mitleidenschaft gezogen wurde, geklärt werden können. Selbst wenn Letzteres in einem völkerrechtlichen Vertrag zwischen den beteiligten Akteuren geregelt sein sollte, bleibe immer noch grundsätzlich zu klären, wie im Umgang mit Risiken und Unsicherheiten generell rechtlich zu verfahren sei.

Mit seiner Arbeit will der Völkerrechtler dazu beitragen, zumindest auf der Rechtsebene für klarere Verhältnisse zu sorgen. Seit Dezember 2009 befasst er sich neben der juristischen Lektüre mit den naturwissenschaftlichen Grundlagen von Climate Engineering. Das sei zuweilen harte Kost, kommentiert er seine Bemühungen, sein naturwissenschaftlich-technisches Wissen auf den Stand der Dinge zu bringen. Sehr erhellend seien da die Gespräche und Workshops mit den anderen Doktoranden des Marsilius-Projekts, die im Abstand von zwei Wochen stattfinden. „Da werden viele meiner Fragen beantwortet. Die Herangehensweise aus unterschiedlichen Blickwinkeln ist hilfreich und spannend", sagt Reichwein.

Die offenen völkerrechtlichen Fragestellungen muss er allerdings im Alleingang bearbeiten. „Ich muss dabei zwischen den unterschiedlichen angedachten Maßnahmen differenzieren", beschreibt er seine Vorgehensweise. So gehe es darum, rechtlich zu bewerten, ob bereits bestehende völkerrechtliche Verträge oder das Völkergewohnheitsrecht die gezielte aktive Klimabeeinflussung untersagen oder andere rechtlich verbindliche Aussagen über sie treffen. „Für den Einsatz von Schwefelsulfiten in der Stratosphäre sind unter anderem die ENMOD-Konvention, das Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung sowie das Wiener Übereinkommen zum Schutz der Ozonschicht zu beachten", nennt Reichwein einige Beispiele aus bestehendem Recht, die zumindest teilweise auf Geo Engineering zutreffen.

Fotos: NASA (links), Alfred-Wegener-Institut (AWI) (Mitte, oben), G. Mazzochi, SZN / AWI (Mitte, unten), Victor Smetacek, AWI (rechts)

Teilchenschleuder: Ungefähr zehn Millionen Tonnen Schwefeldioxid hat der Vulkan Pinatubo bei seinem Ausbruch 1991 in die Stratosphäre geblasen. Das Schwefeldioxid wandelte sich teilweise in Sulfatpartikel um, die offenbar im Folgejahr die Temperatur auf der Erde um durchschnittlich ein halbes Grad Celsius senkten.

Foto: dpa- Picture Alliance

Den Maßnahmen der Eisendüngung könnten unter anderem die London-Konvention – ein Übereinkommen über die Verhütung der Meeresverschmutzung durch das Einbringen von Abfällen und anderen Stoffen –, die UN-Seerechtskonvention und das Abkommen über die biologische Vielfalt entgegenstehen. David Reichwein: „Zu beachten ist ebenfalls das völkergewohnheitsrechtliche Verbot der grenzüberschreitenden Umweltbeeinträchtigung. Das untersagt jedem Staat, auf seinem Territorium Aktivitäten zu entfalten oder zuzulassen, von denen erhebliche grenzüberschreitende Umweltbeeinträchtigungen ausgehen können."

EIN KONSENS UNTER DEN STAATEN WIRD SCHWIERIG

Im zweiten Teil seiner Arbeit will der junge Forscher zunächst die unterschiedlichen umweltrechtlich relevanten rechtlichen und nicht-rechtlichen Handlungsformen suchen, die sich global anwenden lassen. „Die Palette reicht dabei von einem multilateralen völkerrechtlichen Vertrag über unilaterales Vorgehen bis zu einem kompletten Verbot von Geo-Engineering-Maßnahmen", erklärt er. „Danach schaue ich, welche als Rechtsinstrumente zu Climate Engineering passen könnten, wie sie ausgeformt sein müssten und welche Vor- und Nachteile sie mit sich bringen." Wünschenswert wäre aus völkerrechtlicher Perspektive sicherlich ein verbindlicher Vertrag der Staaten, ebenso ein Nachfolgeabkommen zum Kyotoprotokoll für die gemeinsamen Bemühungen zur Kohlendioxid-Reduktion.

Dass dies während der Klimaverhandlungen in Kopenhagen noch nicht gelungen sei, zeige aber deutlich die Schwierigkeit, in der Staatengemeinschaft einen Konsens herzustellen. „Angesichts der potenziellen Risiken und Nebenwirkungen der Klimamanipulationen, die überdies regional sehr unterschiedlich ausfallen können, dürfte dies für die Techniken des Climate Engineering kaum einfacher laufen", vermutet Reichwein. Der Forscher sieht seine Aufgabe jedoch nicht darin, zu klären, ob man solche Klimamanipulationen überhaupt erlauben sollte: „Das fällt ebenso wenig in eine völkerrechtliche Beurteilung wie eine moralische Bewertung solcher Eingriffe."

Vielmehr wollen er und seine Kollegen dazu beitragen, dass zukünftig solche Diskussionen und Entscheidungen über mögliche Maßnahmen auf rechtlich gesichertem Grund geführt werden können. Schließlich könnte es ja sein, dass die Maßnahmen zur Kohlendioxid-Reduktion nicht ausreichen. „In diesem Fall brauchen die Klimaschützer einen Plan B. Und vielleicht kann ich ja als kleines Rädchen durch meine Arbeit zu einem Teil dazu beitragen, den Klimawandel aufzuhalten", sagt David Reichwein. ◂

GLOSSAR

Aerosole
Gemische aus Schwebeteilchen (Aerosolpartikel) und einem Gas. Die Teilchen spielen eine wichtige Rolle bei der Bildung von Wolkentröpfchen und haben großen Einfluss auf das Klima.

Alfred-Wegener-Institut
Benannt nach dem gleichnamigen Polarforscher und Geowissenschaftler, wurde das Alfred-Wegener Institut (AWI) am 15. Juli 1980 in Bremerhaven gegründet. Es beschäftigt sich mit Meeresbiologie, -geologie sowie Klimaforschung und gehört zur Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren.

Stratosphäre
Atmosphärenschicht, die über der Troposphäre liegt und bis in eine Höhe von etwa 50 Kilometern reicht. Die Stratosphäre enthält vergleichsweise viel Ozon.

Völkerrecht
Das Völkerrecht ist eine überstaatliche Rechtsordnung, welche die Beziehungen zwischen den Staaten auf der Grundlage der Gleichrangigkeit regelt.