

CLIMATE ENGINEERING

TAB-FOKUS NR. 3 ZUM ARBEITSBERICHT NR. 159

MÄRZ 2014

IN KÜRZE

- › Der Klimawandel wird vielfach als das zentrale Umweltproblem unserer Zeit angesehen. Bisherige Klimaschutzbemühungen zeigen jedoch kaum Wirkung.
- › Es stellt sich die Frage, ob direkte technologische Eingriffe in das Klimasystem geeignet sein könnten, den Temperaturanstieg zu begrenzen – ein sogenanntes Climate Engineering.
- › Entscheidungen über die Entwicklung und Anwendung von Climate Engineering würden Politik und Gesellschaft vor größte Herausforderungen stellen, zumal potenziell die gesamte Erdbevölkerung die möglichen Folgen der Maßnahmen zu tragen hätte.
- › Über den Nutzen von Climate Engineering kann daher nicht allein aufgrund technologisch-naturwissenschaftlicher Kriterien oder ökonomischer Überlegungen entschieden werden. Erforderlich ist ebenso eine Bewertung nach ethischen, rechtlichen und gesellschaftspolitischen Kriterien.

WORUM ES GEHT

Zur Eindämmung des Klimawandels und seiner Folgen stehen seit Langem die Strategien zur **Reduktion der anthropogenen Treibhausgasemissionen** (Mitigation) sowie **Anpassungsmaßnahmen** (Adaptation) an bereits eingetretene oder erwartete Klimaveränderungen im Fokus. Ungeachtet der vielfältigen Aktivitäten zur Emissionsreduktion ist es bisher nicht gelungen, den weiteren Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre aufzuhalten.

Um der globalen Erderwärmung entgegenzuwirken, gibt es – zumindest im Prinzip – weitere Handlungsoptionen, die erst dann zum Einsatz kämen, nachdem die Treibhausgase in die Atmosphäre emittiert wurden. Dazu gehören **gezielte technische Interventionen in das Klimasystem**, das sogenannte **Climate Engineering (CE)**. Im Mittelpunkt steht die Frage, ob bzw. unter welchen Bedingungen Climate Engineering einen Beitrag zur Bekämpfung des Klimawandels liefern könnte oder sogar sollte.

Climate Engineering umfasst zwei systematisch verschiedene Technikansätze:

- › Die sogenannten **Carbon-Dioxide-Removal-Technologien** (CDR-Technologien) zielen darauf ab, bereits emittiertes **CO₂ wieder aus der Atmosphäre zu entfernen**, also eine der Hauptursachen des anthropogenen Klimawandels zu beseitigen. Dies könnte beispielsweise durch eine großflächige Düngung der Ozeane mit Nährstoffen, wie z. B. Eisen, geschehen, um dadurch das Algenwachstum und den beim Absinken abgestorbener Algen resultierenden CO₂-Transport in die Tiefsee gezielt zu fördern.
- › Die sogenannten **Radiation-Management-Technologien** (RM-Technologien) zielen dagegen auf eine **Veränderung der Strahlungsbilanz der Erde**. Eine Abkühlung der Erde könnte theoretisch etwa durch das Ausbringen von Schwefelpartikeln in die Atmosphäre erreicht werden, die einen Teil der einfallenden Sonnenstrahlung zurück in den Weltraum reflektieren. Die atmosphärische CO₂-Konzentration wird hierbei nicht reduziert – andere Folgen des Klimawandels, wie die zunehmende Versauerung der Ozeane, ließen sich dadurch nicht beheben.

AKTIVITÄTEN ZUM CLIMATE ENGINEERING

In der **Wissenschaft** werden die Ideen des Climate Engineering **seit Mitte der 2000er Jahre verstärkt diskutiert**. Eine Kernfrage lautet, ob ein unerwartet folgenschwerer Klimawandel durch die Anwendung geeigneter CE-Technologien noch beherrscht werden könnte. Der Blick richtet sich gleichzeitig auf potenzielle unerwünschte ökologische und soziale Folgen entsprechender Klimainterventionen. Das Forschungsinteresse liegt derzeit vorwiegend in der **Erweiterung des Grundlagenwissens zur besseren Bewertung von Climate Engineering**, ohne dass damit eine konkrete Entwicklungsabsicht entsprechender Technologien verknüpft wäre.

AUFTRAGGEBER UND THEMENINITIATIVE

Ausschuss für Bildung, Forschung und
Technikfolgenabschätzung
+49 30 227-32861
bildungundforschung@bundestag.de

Die weltweite **Öffentlichkeit** hat bisher **wenig Anteil am Diskurs** zu Climate Engineering, und eine **politische und gesellschaftliche Auseinandersetzung** darüber findet gegenwärtig **nur in sehr wenigen Staaten** statt. Wesentliche Impulse gehen dabei von den **USA, Großbritannien und Deutschland** aus, wo sich die Parlamente und/oder Regierungen bereits mit der Thematik beschäftigt haben. Zwar wird in praktisch allen politischen Äußerungen die Priorität der Emissionsreduktion hervorgehoben, doch sprechen sich **britische und US-amerikanische Parlamentarier** mit Bezug auf die Möglichkeit eines folgenschweren Klimawandels für **weitere Forschungs- und Regulierungsanstrengungen** aus. Die **Bundesregierung** hat erklärt, sich dafür einzusetzen, dass Climate Engineering ohne ausreichende Erkenntnisse und internationale Regelungsmechanismen nicht zur Anwendung gelangt. Aus **anderen Staaten** können bisher **keine vergleichbaren politischen Aktivitäten** berichtet werden.

Durch das Aufgreifen des Themas durch den **Weltklimarat IPCC** erfährt Climate Engineering aktuell eine bedeutsame Aufwertung. In der Folge ist eine **wachsende Politisierung** und eine **erhöhte Medienaufmerksamkeit** zu erwarten.

GESELLSCHAFTSPOLITISCHER DISKURS NOTWENDIG

Climate Engineering kann als ein **potenziell hochkontroverses Diskursthema** eingeschätzt werden. Gerade der beispiellose globale Aspekt bestimmter CE-Technologien kann Auslöser für öffentliche Beunruhigung und gesellschaftlichen Widerstand sein. Ziel sollte daher die Etablierung eines **gesamtgesellschaftlichen Diskussions- und Verständigungsprozesses** sein, um einen möglichst breiten Konsens über den weiteren Umgang mit diesen Technologien herstellen zu können und eine gesellschaftliche Teilhabe an Entscheidungen im Kontext des Climate Engineering zu ermöglichen. Dabei lauten die zentralen Fragen, **ob überhaupt, aus welchen Motiven und in welcher Art und Weise Climate Engineering** erforscht und ggf. eingesetzt werden könnte bzw. sollte.

Eine **bessere Informationsgrundlage** erscheint zwingend notwendig, damit sich die Öffentlichkeit an Beurteilungs- und

Entscheidungsprozessen zu Climate Engineering konstruktiv beteiligen kann. Ein guter Kenntnisstand und ein darauf aufbauender Verständigungsprozess ließen sich mit einer **Kommunikations- und Informationsstrategie** aktiv befördern. Das mögliche Spektrum reicht von intensiven Internetaktivitäten bis hin zu vernetzten Informations- und Diskussionsveranstaltungen für interessierte Bürgerinnen und Bürger, die ein frühzeitiges Dialogforum für die Akteursgruppen aus Öffentlichkeit, Wissenschaft und Politik böten.

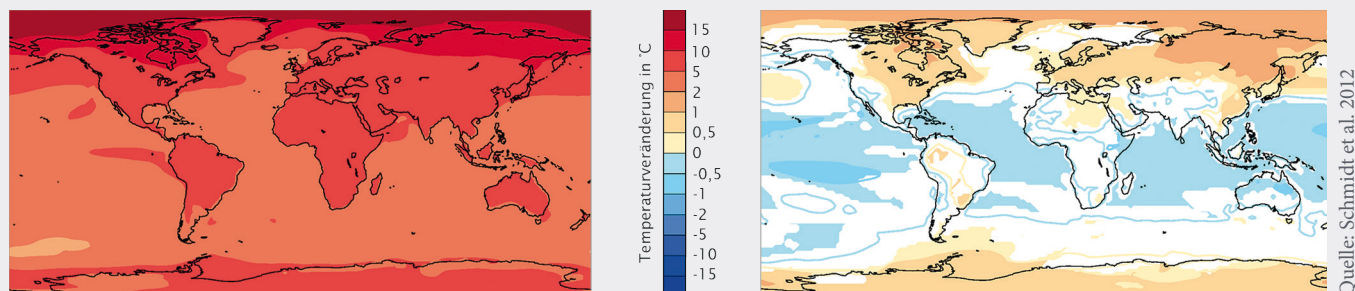
WISSENSCHAFTLICHER UND TECHNOLOGISCHER SACHSTAND

Der **technologisch-naturwissenschaftliche Erkenntnisstand** zu den Wirkungen und Nebenwirkungen der verschiedenen CE-Optionen ist **noch sehr beschränkt**.

Nach aktueller Kenntnislage wäre **keines der bisher diskutierten CDR-Konzepte zu einer substanziellen Senkung der Erdtemperatur in der Lage**. Gleichwohl könnten sich bestimmte CDR-Optionen perspektivisch zu sinnvollen und unter Umständen **wichtigen Klimaschutzinstrumenten in Ergänzung zur Emissionsreduktion** entwickeln. CDR-Konzepte, die eine gebietsbezogene Anwendung erlauben, erscheinen auch deshalb attraktiv, weil bei ihnen nur räumlich eingrenzbar und eher geringe Umweltnebenfolgen erwartet werden können.

Für die **RM-Optionen** kann auf Grundlage erster Computersimulationen vermutet werden, dass entsprechende Klimainterventionen eine (**schnelle**) **Senkung der globalen Durchschnittstemperatur um mehrere Grad Celsius** bewirken könnten, die Temperaturreduktion wäre allerdings global ungleichmäßig verteilt. Gleichzeitig käme es zu **Veränderungen in anderen Klimavariablen**, über deren Qualität, Umfang und regionale Ausprägung bisher wenig bzw. so gut wie nichts bekannt ist.

Aus der technischen Perspektive befinden sich **einige der CDR-Optionen** bereits in der Phase der **Entwicklung und Erprobung**, während es sich bei den **RM-Optionen** lediglich um **erste Konzeptideen** handelt.



Modellierung der Temperaturveränderungen im Klimaszenario mit einer vierfach höheren CO₂-Konzentration gegenüber dem vorindustriellen Niveau (links) und im Szenario einer Anwendung von RM-Technologien zur Beibehaltung der vorindustriellen globalen Durchschnittstemperatur trotz hoher CO₂-Konzentration (rechts). Eine gleichmäßige Temperaturreduktion wäre mit RM-Maßnahmen vermutlich nicht zu leisten, die Folge wäre eine Überkühlung der Tropen und Erwärmung der Polarregionen.

CE-Maßnahmen, die von ihrer Anlage her einen großskaligen bis globalen Anwendungsmaßstab vorsehen, wären vermutlich nur mit **teils gravierenden ökologischen Nebenfolgen** und damit **tiefgreifenden Auswirkungen auf die Lebensbedingungen der Menschen** durchführbar. Eine sozialwissenschaftliche Forschung, die den Blick auf gesellschaftliche Implikationen des Climate Engineering richtet, steht noch ganz am Anfang. Insgesamt ist es zurzeit höchst ungewiss, ob die ökologischen und sozialen Folgen einer großtechnischen Klimaintervention im Vergleich zur Situation ohne eine solche als geringer einzuschätzen sind.

Wahrscheinlich wären noch **Jahrzehnte an Forschung** notwendig, um substanzielle Fortschritte bei der wissenschaftlichen Bewertung und technischen Entwicklung von Climate Engineering zu erzielen.

FORSCHUNGSPOLITIK

Eine Kernfrage lautet, ob und in welcher Form die CE-Forschung über den bisherigen Rahmen hinaus gezielt gefördert werden soll. Ein Verzicht auf weiter gehende Forschungsanstrengungen könnte bedeuten, keinen **Einfluss auf die internationale Entwicklung** nehmen zu können. Auch kann die deutsche Forschung **wichtige Impulse für die internationale Debatte** beisteuern. Gleichzeitig gehört **Deutschland** bereits jetzt zu den **führenden Forschungsnationen** im CE-Kontext. Ein noch stärkeres Engagement sollte nicht Anlass zu Fehlinterpretationen geben, wonach Deutschland die aktuellen klimapolitischen Maßnahmen für nicht (mehr) zielführend halte. Die For-

schungsmotive und -ziele sollten daher genau und transparent kommuniziert werden.

Die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung und sozialwissenschaftliche Begleitforschung ließen sich insbesondere zu folgenden Aspekten noch erweitern:

KONKRETE TECHNIKVORSCHLÄGE (AUSWAHL)

Umwandlung von Biomasse in sog. Biokohle: Dadurch bliebe der in der Biomasse fixierte Kohlenstoff längerfristig der Atmosphäre entzogen.

CO₂-Abscheidung aus der Luft und CO₂-Lagerung: Mit einer der CCS-Technologie vergleichbaren Technik ließe sich CO₂ direkt aus der Luft filtern. Dies würde allerdings riesige Anlagen bedingen.



Spiegel im Weltraum: Zwischen Sonne und Erde platzierte Spiegel könnten einen Teil der Sonnenstrahlung zurück in den Weltraum lenken.



Wolkenaufhellung: Tiefliegende Wolken über den Ozeanen ließen sich durch Einsprühen von Seesalzkristallen aufhellen, wodurch diese mehr Sonnenlicht reflektieren. Dies könnte durch eine Flotte von unbemannten Booten durchgeführt werden.

Computerdarstellungen
Quellen: Holmes et al. 2013; Latham et al. 2012

› Zur **Wahrnehmung und Beurteilung von Climate Engineering in der deutschen und weltweiten Öffentlichkeit** gibt es bisher eine nur rudimentäre empirische Datenbasis, die mit Blick auf eine gesellschaftliche Teilhabe dringend zu erweitern wäre.

› Eine intensivierte CE-Forschung könnte **Auswirkungen auf die politischen Bemühungen zur Treibhausgasreduktion** haben. Ziel wäre hier, mögliche Entwicklungen frühzeitig zu antizipieren und Handlungsoptionen zu entwickeln, wie ggf. darauf reagiert werden könnte.

› Die diversen Optionen des Climate Engineering werden zumeist isoliert voneinander und ohne Bezug zu möglichen Anpassungsstrategien auf ihren klimapolitischen Nutzen hin untersucht. Womöglich böte ein Mix aus allen zur Verfügung stehenden Maßnahmen einen zielführenden Ansatz, weshalb der **Nutzen und die Risiken von Portfolioansätzen** verstärkt in den Blick zu nehmen wären.

ARGUMENTE FÜR CLIMATE ENGINEERING:

- › Ohne Climate Engineering lassen sich die klimapolitischen Zielsetzungen (z. B. das 2-°C-Ziel) womöglich nicht mehr einhalten.
- › Mit Climate Engineering wäre die Beherrschung des Klimawandels ggf. einfacher und kosteneffizienter zu realisieren als mit Reduktions- und Anpassungsmaßnahmen.
- › Für den Fall eines unerwartet dramatischen Klimawandels sollten einsatzbereite und schnellwirkende CE-Technologien bereitstehen, um folgenschwere Entwicklungen noch abwenden zu können.

ARGUMENTE GEGEN CLIMATE ENGINEERING:

- › Bereits die Aussicht auf Climate Engineering könnte zu einem Nachlassen der Reduktionsbemühungen führen.
- › Die Risiken von technischen Klimainterventionen sind nicht abschätzbar, eine Anwendung zu gefährlich.
- › Ein Maßnahmenabbruch führt unter Umständen zu einem sprunghaften Temperaturanstieg, der die Anpassungsfähigkeit von Ökosystemen überfordern dürfte.
- › CE-Technologien könnten unilateral eingesetzt werden, auch wenn dies aus politischer und ethischer Perspektive nicht gerechtfertigt erscheint.

- Der Wissensstand über Nutzen- und Kostenaspekte von Climate Engineering ist noch rudimentär und beschränkt sich auf die direkten Kosten entsprechender Maßnahmen. Entscheidend für eine Bewertung nach ökonomischen Gesichtspunkten dürften aber die **gesamtwirtschaftlichen Konsequenzen** dieser Strategien sein, über die wenig bekannt ist und die es weiter zu untersuchen gilt.

In Bezug auf die **gebietsbezogen anwendbaren CDR-Optionen**, die prospektiv eine wichtige Rolle für die Klimaschutzpolitik einnehmen könnten, erscheint die Verstärkung der **anwendungs- und praxisbezogenen Forschung** geboten.

RECHTLICHER RAHMEN UND REGULIERUNGSOPTIONEN

Bisher existieren sowohl auf nationaler bzw. europäischer als auch auf internationaler Rechtsebene **keine spezifischen Regulierungen**, die Climate Engineering als solches generell adressieren und unter Umständen auf Umwelt und Menschen sich negativ auswirkende Aktivitäten effektiv unterbinden könnten. Verschiedene **Gründe sprechen für eine zeitnahe internationale Regulierung zumindest der CE-Forschung**: So könnten etwa ohne Sorgfalt durchgeführte großskalige Feldversuche bereits mit problematischen Umweltwirkungen verbunden sein. Angesichts des globalen Charakters vieler CE-Optionen lassen sich unerwünschte Entwicklungen nur anhand völkerrechtlicher Vorgaben effektiv vermeiden.

Zwar enthält das **Völkergewohnheitsrecht** einige auf alle Staaten prinzipiell anwendbare Regeln, jedoch sind deren Inhalte und Zusammenspiel zu unbestimmt, um derzeit rechtlich gesicherte Aussagen über die Zulässigkeit von CE-Aktivitäten zu erlauben. In Bezug auf das **Völkervertragsrecht** haben bisher einzig die Vertragsparteien des **Londoner Protokolls** (zur Verhütung der Meeresverschmutzung) sowie der **Biodiversitätskonvention** eine entsprechende Regulierungsnotwendigkeit erkannt. Die Regeln unter der Biodiversitätskonvention sprechen zwar CE-Aktivitäten im Allgemeinen an, entfalten jedoch keine rechtliche Bindungswirkung. Die Regeln des Londoner Protokolls sind (nach ihrem Inkrafttreten) nur für dessen Mitgliedstaaten rechtsverbindlich und behandeln bisher lediglich CE-Aktivitäten im Bereich der Ozeandüngung.

Für die weitere Ausgestaltung einer CE-Regulierung steht ein weites Feld an Optionen offen. Ein **weiteres Vorgehen**

TAB-ARBEITSBERICHT NR. 159

CLIMATE ENGINEERING

CLAUDIO CAVIEZEL, CHRISTOPH REVERMANN



INTERNETSEITE DES PROJEKTS

www.tab-beim-bundestag.de/de/untersuchungen/u9900.html

PROJEKTLEITUNG UND KONTAKT

Dr. Claudio Caviezel
+49 30 28491-116
caviezel@tab-beim-bundestag.de

unter der Biodiversitätskonvention könnte, da hier auf bereits geleistete Arbeit aufgebaut werden kann, eine gute Option darstellen, vor allem falls eine weiter gehende Regulierung als dringlich eingestuft wird. Hier böte es sich etwa an, **die unter dem Londoner Protokoll erarbeiteten Regellungsansätze auch auf andere CE-Optionen auszuweiten** und diese unter der Biodiversitätskonvention zu verankern. Eine Regulierung unter der **Klimarahmenkonvention** erscheint angesichts der thematischen Nähe attraktiv, könnte allerdings die ohnehin schon hohe Komplexität der internationalen Klimapolitik erhöhen und diese dadurch gefährden. Eine Handlungsalternative würde schließlich darin bestehen, ein **neues CE-spezifisches völkerrechtliches Regime** anzustreben. Dies scheint jedoch nur in einer langfristigen Perspektive eine empfehlenswerte Option zu sein, da die Verhandlungsdauer für ein neues Abkommen mehrere Jahre betragen kann.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass Deutschland durch sein politisches Gewicht, aber auch im Hinblick auf seine Vorreiterrolle beim Klimaschutz eine große Bedeutung bei der Ausarbeitung einer internationalen Regulierung von Climate Engineering einnehmen könnte.

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) ist eine selbstständige wissenschaftliche Einrichtung, die den Deutschen Bundestag und seine Ausschüsse in Fragen des wissenschaftlich-technischen Wandels berät. Das TAB wird seit 1990 vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) betrieben. Hierbei kooperiert es seit September 2013 mit dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, dem IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH sowie der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Der Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung entscheidet über das Arbeitsprogramm des TAB, das sich auch aus Themeninitiativen anderer Fachausschüsse ergibt. Die ständige »Berichterstattergruppe für TA«, besteht aus je einem Mitglied der Fraktionen: Dr. Philipp Lengsfeld (CDU/CSU), René Rösler (SPD), Ralph Lenkert (Die Linke), Harald Ebner (Bündnis 90/Die Grünen) und der Ausschussvorsitzenden, Patricia Lips (CDU/CSU).