



BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG  
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG

Claudio Caviezel  
Christoph Revermann

# Climate Engineering

Zusammenfassung

März 2014  
Arbeitsbericht Nr. 159





---

## ZUSAMMENFASSUNG

Das Thema »Klimawandel« zieht seit geraumer Zeit große Aufmerksamkeit und vielfältige nationale und internationale Aktivitäten auf sich. Zugleich nimmt in der Gesellschaft, der Wissenschaft und auch in der Politik die Skepsis hinsichtlich der bislang ergriffenen klimabezogenen Maßnahmen zu. So zeigen die internationalen Bemühungen, durch eine Reduktion der Emissionen an Treibhausgasen (THG) dem Klimawandel entgegenzusteuern, bislang kaum eine Wirkung – auch im Jahr 2013 erreichte die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration wieder einen neuen Rekordwert (von fast 400 ppm im Jahresmittel). Dementsprechend ist in den Klimadiskursen oftmals die Rede von nur noch sehr kleinen zur Verfügung stehenden Zeitfenstern zur möglichen Abwendung einer sich schon abzeichnenden »Klimakatastrophe«. Deutlich geworden ist auch, dass das Klima als Reflexionsgegenstand seinen Charakter innerhalb weniger Jahre verändert hat, hin zu einem Gegenstand großtechnischen Handelns. Ob sich die möglichen klimabeeinflussenden Handlungsoptionen durch das sogenannte »Climate Engineering« erweitern, wird anhand des vorliegenden Berichts analysiert und diskutiert.

---

### CLIMATE ENGINEERING: EIN NEUER KLIMAPOLITISCHER DISKURS?

Angesichts der Schwierigkeiten der internationalen Klimadiplomatie, sich auf globale Emissionsminderungsziele festzulegen und diese auch konsequent umzusetzen, haben in jüngster Zeit – als neues Strategieelement zu den bislang verfolgten Optionen »Emissionsreduktion« und »Anpassungsmaßnahmen« – mögliche Verfahren zu einer gezielten Klimabeeinflussung mittels Technikeinsatz Eingang in die wissenschaftlichen Debatten gefunden. Hierbei handelt es sich um aktive Eingriffe in den CO<sub>2</sub>- oder Strahlungshaushalt der Erde. Solche Methoden und Technologien zur Klimamanipulation werden mit »Geoengineering«, »Climate Geoengineering« oder »Climate Engineering« (CE) bezeichnet. Das eigentlich neue Element im Zusammenhang mit der Entwicklung von CE-Technologien sind nicht deren technologische Grundlagen, sondern vielmehr die mit diesen Technologien anvisierten notwendigen Größenordnungen: eine absichtliche Manipulation der Umwelt in großen und größten Dimensionen auf *globaler* Skala. Die Entwicklung bzw. Implementierung einer Technologie, für die beide Attribute – *absichtlich* durchgeführt und *global* wirkend – zutreffen, ist in der Geschichte der Menschheit ohne Beispiel.

Im Falle einer beabsichtigten Entwicklung und eines großtechnischen Einsatzes von CE-Technologien würden die politischen Entscheidungsträger vor größte Herausforderungen gestellt, insbesondere weil unter Umständen die gesamte Erdbevölkerung die möglichen Folgen der Maßnahmen – gegebenenfalls mit räumlich



und zeitlich unterschiedlicher Ausprägung – zu tragen hätte. Grundsätzlich lassen verschiedene und sich in jüngster Zeit verstärkende Indizien darauf schließen, dass die CE-Diskurse in den kommenden Jahren weiter an Fahrt gewinnen und entsprechend der politische Entscheidungs- und Handlungsdruck zunehmen könnte. Notwendig ist daher eine frühzeitige und so umfassend wie möglich mit Informationen unterstützte gesellschaftliche Debatte über Chancen und Risiken, Machbarkeit (Potenziale) und Sinnhaftigkeit von Climate Engineering.

Verlässliche Informationen und begründete Einschätzungen über den jeweils erreichten Stand von Forschung und Entwicklung sowie zur Bewertung und Regulierung von Climate Engineering im nationalen wie im internationalen Kontext sind auch für die Parlamente unverzichtbar. Deshalb hat der Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) mit der Durchführung eines entsprechenden TA-Projekts beauftragt. Ein Ziel des resultierenden Berichts ist es, einen umfassenden Überblick über den Stand des Wissens bezüglich naturwissenschaftlich-technologischer Aspekte der verschiedenen vorgeschlagenen CE-Konzepte zu geben. Darüber hinaus werden die rechtlichen Rahmenbedingungen und Regulierungserfordernisse in nationaler und internationaler Perspektive analysiert. Schließlich wird der Blick auf ethische, politische und sozioökonomische Bewertungs- und Entscheidungskriterien in den medialen, öffentlichen, politischen und wissenschaftlichen Diskursen zu diesen technischen Eingriffen gerichtet. Diese sind von besonderer Relevanz, da angesichts der möglichen (bekannten wie auch unbekannt) weiträumigen Konsequenzen einer unter Umständen über mehrere Generationen anzuwendenden Technologie eine Entscheidung über die Erforschung und noch viel mehr zum Einsatz bzw. Nichteinsatz von Climate Engineering sicherlich nicht allein aufgrund technologischer bzw. naturwissenschaftlicher Kriterien (Machbarkeit, Klimawirksamkeit, Umweltrisiken etc.) oder Kostenüberlegungen erfolgen kann.

---

### **NATURWISSENSCHAFTLICHE UND TECHNISCHE ASPEKTE DES CLIMATE ENGINEERING**

Zunehmend wird im klimapolitischen Diskurs die Frage gestellt, ob Climate Engineering geeignet sein könnte, um relativ schnell auf den Klimawandel zu reagieren bzw. um Versäumnisse bisheriger Emissionsreduktion und die Folgen des anthropogenen Temperaturanstiegs über direkte technologische Eingriffe in das Klimageschehen zu begrenzen. Grundsätzlich bzw. systematisch lassen sich CE-Maßnahmen in zwei Technologieansätze bzw. Strategien unterscheiden:

- › Techniken bzw. Technologien, die eine Veränderung des Kohlenstoffkreislaufs bewirken sollen, indem sie CO<sub>2</sub> nach dessen Emission durch die Verstärkung der natürlichen Aufnahmekapazität von Meeren, Pflanzen oder ter-

restrischen Strukturen wieder aus der Atmosphäre entfernen. Diese auf die Ursachen des Klimawandels bezogenen Maßnahmen werden als *Carbon-Dioxide-Removal-Technologien* (CDR-Technologien) bezeichnet.

- › Techniken bzw. Technologien, die auf eine Veränderung der Balance zwischen eingehender Sonnenstrahlung und ausgehender Strahlung des Erdsystems abzielen; sie werden als *Radiation-Management-Technologien* (RM-Technologien) bezeichnet. Hierbei handelt es sich um einen auf das Symptom »Temperaturanstieg« fokussierten Ansatz, der keinen Einfluss auf die Ursachen der Erderwärmung nimmt.

Die Ansätze sind nicht nur hinsichtlich ihrer Wirkungsmechanismen grundsätzlich verschieden, sondern befinden sich auch in sehr unterschiedlichen Stadien der Entwicklung. Während für einige der CDR-Optionen bereits an der Entwicklung und Erprobung entsprechender Technologien gearbeitet wird, handelt es sich bei den RM-Optionen gegenwärtig eher um erste Konzeptstudien.

## CDR-TECHNOLOGIEN

CDR-Maßnahmen setzen an den Ursachen des Klimawandels an, da mit ihnen das Ziel verfolgt wird, durch biologische, chemische oder physikalische Prozesse das maßgeblich an der Klimaerwärmung beteiligte CO<sub>2</sub> der Atmosphäre zu entziehen und dieses in anderen Kohlenstoffreservoirs der Erde über möglichst lange Zeiträume zu fixieren. Von den bisher diskutierten CDR-Technologien machen sich die meisten natürliche Prozesse des globalen Kohlenstoffkreislaufs zunutze; durch großtechnische Eingriffe sollen diese verstärkt bzw. beschleunigt werden. Zudem werden Maßnahmen vorgeschlagen, um neuartige CO<sub>2</sub>-Senken zu generieren. Viele der vorgeschlagenen CDR-Optionen gelten als grundsätzlich machbar, allerdings ist deren Potenzial entweder aus technischen Gründen oder durch die Kosten einer globalen Anwendung so begrenzt, dass sie keine schnelle Beeinflussung der Temperatur erlauben.

*Ozeandüngung*: Diskutiert wird, das Algenwachstum und den beim Absterben der Algen resultierenden CO<sub>2</sub>-Transport in die Tiefsee gezielt zu fördern. Dazu soll der das Algenwachstum begrenzende Nährstoffmangel durch Einbringen von Eisen oder anderen Nährstoffen behoben werden. Ersten theoretischen Schätzungen zum Potenzial der Ozeandüngung zufolge würde eine Schiffsladung Eisen (10.000 t) ausreichen, um die gesamten jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen Deutschlands aus der Atmosphäre in die Ozeane zu überführen. Diese sehr vereinfachte Betrachtung hat sich mittlerweile als falsch heraus gestellt, wie eine Reihe von Feldversuchen zeigte. Auch verschiedene Modellsimulationen bestätigen, dass selbst bei großflächigen (z. B. gesamter südlicher Ozean) und langfristigen (mehrere Jahrzehnte) Eisendüngungen nur ein vergleichsweise geringer Anteil der globalen anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Tiefsee transportiert werden könnte (ca. 10 %). Dies gilt auch für die Düngung mit anderen Nährstoff-



## ZUSAMMENFASSUNG

fen, wie z.B. Stickstoff. Eine großflächige Nährstoffdüngung der Ozeane würde zudem einen sehr deutlichen und nachhaltigen Eingriff in das sensible Gefüge der marinen Stoffströme und Ökosysteme darstellen, sodass mit weitreichenden Folgen für die Meeresumwelt und das Klimasystem gerechnet werden muss. Über deren Qualität und Umfang gibt es bislang nur rudimentäre Erkenntnisse.

*Verwitterungsprozesse und Veränderung der Wasserchemie:* Im Rahmen natürlich stattfindender Verwitterungsprozesse reagiert  $\text{CO}_2$  mit bestimmten Gesteinsarten chemisch und wird so fixiert. Diskutiert wird, natürliche Verwitterungsprozesse durch technische Maßnahmen zu beschleunigen. Konkret wird vorgeschlagen, große Mengen an Kalkstein- oder Olivinpulver (ein Silikatmineral) in Küstengewässer bzw. auf dem offenen Meer auszubringen oder Olivinpulver in feuchtwarmen Gebieten an Land zu verteilen. Bisher wurden verschiedene konzeptionelle Ideen entwickelt sowie einfache Modellrechnungen durchgeführt. Größere Feldexperimente zu diesen Verfahren haben bis dato nicht stattgefunden, sodass noch erhebliche Wissenslücken hinsichtlich Geschwindigkeit und tatsächlicher Umsatzraten unter Praxisbedingungen, des Prozessverlaufs bei lokal hohen Konzentrationen an Gesteinspulver sowie möglicher Wechselwirkungen mit anderen Systemen (z.B. Bodenorganismen) bestehen. Zudem sind die Auswirkungen dieser Verfahren auf bestehende Ökosysteme oder auf klimarelevante Systeme noch unbekannt. Eine technische Realisierung entsprechender Verfahren in größerem Umfang dürfte unwahrscheinlich sein, da hierfür enorme Mengen an Gestein umgesetzt werden müssten.

*Aufforstung:* Intakte Waldökosysteme speichern große Mengen an Kohlenstoff, weshalb großflächige Aufforstungsmaßnahmen zur Erhöhung der terrestrischen Kohlenstoffsенке auch im Kontext des Climate Engineering diskutiert werden. Dazu können ursprünglich bewaldete Landflächen wieder aufgeforstet werden, allerdings ist das diesbezügliche Potenzial durch ein limitiertes Angebot an fruchtbarer Landfläche vergleichsweise klein. Ein alternativer Vorschlag sieht deshalb die Aufforstung von Gebieten vor, die unter natürlichen Bedingungen keine Vegetation zulassen würden, etwa ganzer Wüstengebiete wie die Sahara. Wenngleich hierdurch  $\text{CO}_2$  in der Größenordnung der jährlichen globalen anthropogenen Emissionen aus der Atmosphäre entfernt werden könnte, wäre der Ressourcen- und Energieaufwand für eine entsprechende Bewässerungsinfrastruktur vermutlich enorm, sodass eine technische Realisierung dieser Vorhaben sehr fraglich erscheint. Die ökologischen und sozialen Folgen einer Aufforstung ganzer Wüstengebiete sind kaum abzuschätzen, wären aber vermutlich gravierend.

*Biokohle:* Der überwiegende Teil des  $\text{CO}_2$ , das Landpflanzen aus der Atmosphäre aufnehmen und in Form von Kohlenstoff in ihrer Biomasse fixieren, gelangt durch mikrobielle Zersetzungsprozesse innerhalb weniger Jahre wieder zurück in die Atmosphäre. Durch die Umwandlung eines Teils dieser Biomasse in biolo-

gisch stabilere sogenannte Biokohle könnte der darin gebundene Kohlenstoff längerfristig der Atmosphäre entzogen werden. Im Fokus steht die Einarbeitung der Biokohle in landwirtschaftlich genutzte Böden, da erste wissenschaftliche Erkenntnisse darauf hindeuten, dass Biokohle eine fördernde Wirkung auf die Fruchtbarkeit des Bodens entfalten könnte. Das Wissen über die biologische Stabilität von Biokohle im Boden (von dieser hängt ab, wie lange der in der Biokohle gespeicherte Kohlenstoff der Atmosphäre entzogen bleibt) sowie über potenzielle Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum ist allerdings noch unzureichend. Weil es sich bei der Biokohle je nach Herstellungsverfahren und Ausgangsbio- masse um ein sehr heterogenes Material handelt, das differenziert auf unterschiedliche Bodeneigenschaften und Klimabedingungen reagiert, ist der diesbe- zügliche Forschungsbedarf noch groß. Das Potenzial dieses Verfahrens wird vor- rangig durch ein limitiertes Angebot an verfügbarer Biomasse beschränkt, selbst unter sehr optimistischen Annahmen ließen sich dadurch kaum mehr als rund 10 % des weltweiten Treibhausgasausstoßes kompensieren.

*BECSS* (»bio-energy with carbon capture and storage«): Hierzu zählen Strate- gien zur Energiegewinnung aus Biomasse, die mit Technologien zur Abscheidung und (geologischen) Lagerung von CO<sub>2</sub> kombiniert werden. Auf diese Weise wäre es möglich, gleichzeitig CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu entfernen und Bioenergie zur Substitution von fossilen Energieträgern bereitzustellen. Die Technologie zur Abscheidung und Lagerung von CO<sub>2</sub> aus Rauchgasen von Kraftwerks- und In- dustrieanlagen (CCS-Technologie), die bei diesem CE-Verfahren zur Anwendung gelangen würde, ist prinzipiell vorhanden, allerdings wurde sie in einem kom- merziellen Maßstab bislang noch nicht erprobt. Das beschränkte Angebot an verfügbarer Biomasse limitiert das Potenzial dieses CE-Ansatzes. Zudem ist des- sen Perspektive eng verknüpft mit dem weiteren (internationalen) Entwick- lungsprozess der CCS-Technologie in Bezug auf Fragen der Wirtschaftlichkeit, der globalen Lagerkapazitäten für CO<sub>2</sub>, der Sicherheit und Umweltverträglichkeit des Transports und der Lagerung von CO<sub>2</sub> in geologischen Formationen sowie insbesondere der öffentlichen und politischen Akzeptanz für diese Vorhaben.

Prinzipiell denkbar ist auch die sogenannte *CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus der Luft*: Mit- hilfe technischer Verfahren kann CO<sub>2</sub> direkt aus der Umgebungsluft abgeschie- den und in geeignete Lagerstätten verbracht bzw. einer Nutzung zugeführt wer- den. Die notwendige Verfahrenstechnik ist verwandt mit der im Rahmen der CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Rauchgasen angewendeten Technologie. Im Gegensatz zu dieser, die nur bei großen stationären CO<sub>2</sub>-Emissionsquellen durchgeführt wer- den kann, kann hier – über den Umweg durch die Atmosphäre – CO<sub>2</sub> aus sämt- lichen Emissionsquellen (z. B. Verkehrssektor) abgeschieden werden. Die Schwie- rigkeit des Verfahrens besteht allerdings darin, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft gering ist. Somit müssten sehr große Mengen Luft in Kontakt mit einem chemischen Sorptionsmittel gebracht werden, um CO<sub>2</sub> in einer signifikanten Menge abscheiden zu können. Dadurch erhöht sich der energetische und verfahr-



renstechnische Aufwand für die Abscheidung. Wird der Energiebedarf durch fossile Energieträger gedeckt, kann unter ungünstigen Umständen mehr CO<sub>2</sub> entstehen, als von den Anlagen abgeschieden werden kann. Gegenwärtig befindet sich die Technologie in der Phase der Konzeptentwicklung, im Rahmen derer einzelne Prototypen im Labormaßstab getestet werden. An neuen Konzepten und Sorptionsmitteln, die geringere Energieanforderungen haben, wird geforscht, diese befinden sich jedoch noch in einer sehr frühen Entwicklungsphase. Für eine Einschätzung, ob bzw. wann die Technologie unter Praxisbedingungen einsetzbar sein könnte, ist die Wissensbasis derzeit noch unzureichend.

### RM-TECHNOLOGIEN

Mithilfe des sogenannten »radiation management« (RM) soll die Durchschnittstemperatur der Erde gesenkt werden, ohne die Konzentration an CO<sub>2</sub> oder anderen Treibhausgasen in der Atmosphäre zu reduzieren. Durch technische Maßnahmen soll die solare Einstrahlung auf der Erdoberfläche reduziert bzw. die von der Erdoberfläche abgestrahlte Wärmestrahlung erhöht werden, um so eine Abkühlung der bodennahen Luftschichten zu bewirken und die hauptsächlich durch anthropogene THG-Emissionen verursachte Erderwärmung zu kompensieren. Diese Maßnahmen setzen nicht an den eigentlichen Ursachen des Klimawandels an und können keinen Beitrag leisten, weitere durch eine erhöhte atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration induzierte Probleme zu vermindern. Vermutet wird allerdings, dass viele der RM-Optionen die globale Mitteltemperatur deutlich senken (um mehrere Grad Celsius) und ihre Wirkung sehr schnell (innerhalb weniger Jahre) entfalten könnten. Erwartet werden aber zugleich große Risiken durch unerwünschte Nebenfolgen für Mensch und Umwelt.

Radiation Management kann in zwei Gruppen unterteilt werden: Zum einen kann der einfallende solare Strahlungsfluss reduziert (»solar radiation management« [SRM]), zum anderen die Durchlässigkeit der Atmosphäre für die ausgehende Wärmestrahlung erhöht werden (»thermal radiation management« [TRM]). Beim SRM kann der Eingriff auf verschiedenen Ebenen erfolgen, wie folgende Beispiele verdeutlichen: Bei einer Lichtlenkung im Weltraum ließe sich die Energiezufuhr in das Erdsystem dadurch reduzieren, dass ein reflektierendes Material zwischen Sonne und Erde platziert würde, welches einen Teil der in Richtung Erde gerichteten Sonnenstrahlung in den Weltraum ablenkt. Bei der Aerosoleinbringung in die Stratosphäre würde ein Teil der eintreffenden Sonnenstrahlung durch die in die Stratosphäre eingebrachten Aerosole (Schwebeteilchen) zurück in den Weltraum reflektiert werden. Ein weiterer Vorschlag sieht eine künstliche Aufhellung mariner Wolken durch eine Erhöhung der Konzentration der Aerosolteilchen vor, sodass infolge der helleren Oberfläche mehr Sonnenstrahlung reflektiert würde. Mit demselben Effekt könnte die Erdoberfläche aufgehellt werden. Beim TRM gibt es zurzeit nur einen konkreten Vorschlag: Hochliegende Zirruswolken, die einen Teil der Wärmestrahlung daran hindern,



in den Weltraum zu entweichen, sollen mit künstlichen Mitteln aufgelöst werden. Bei allen Vorschlägen zum RM handelt es sich um erste Konzeptideen, die dazu notwendigen Technologien stehen noch nicht zur Verfügung.

Grundsätzlich implizieren alle RM-Technologien eine großskalige bis globale Modifikation der chemischen oder physikalischen Prozesse in der Atmosphäre, der Beschaffenheit der Erdoberflächen oder des Weltraums. Dies und der Umstand, dass die Technologien nicht ursächlich gegen den anthropogenen Treibhauseffekt wirken, bedingt eine Reihe prinzipieller ökologischer und klimatischer Risiken in globalem Maßstab. Zum einen würde RM ein völlig neues Klimaregime schaffen, das zwar in Bezug auf die globale Mitteltemperatur dem heutigen Klima entsprechen könnte, in Bezug auf alle anderen Klimavariablen (z. B. regionale Temperaturverteilung, globale Windzirkulation, Niederschlagsmuster) jedoch u. U. fundamental divergiert. Zum anderen würden RM-Technologien nur die globale Mitteltemperatur, nicht aber die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration reduzieren, weshalb durch sie nur eine partielle Kompensation der Klimawandelfolgen zu erreichen wäre. Dies hätte zahlreiche Auswirkungen auf Ökosysteme und den globalen CO<sub>2</sub>-Kreislauf, unter anderem eine weiter voranschreitende Versauerung der Ozeane. Und schließlich würde es nach einem Abbruch einer RM-Maßnahme höchstwahrscheinlich zu einem sprunghaften Anstieg der globalen Mitteltemperatur kommen, der die natürliche Anpassungsfähigkeit von Arten oder Ökosystemen noch wesentlich stärker überfordern könnte als dies schon bei den aktuellen Klimaveränderungen der Fall ist. Prinzipiell bieten RM-Interventionen daher keine singulären Lösungen für das Problem des Klimawandels.

Die genauen klimatischen und ökologischen Auswirkungen und Risiken eines Einsatzes (bzw. eines Abbruchs) von RM-Maßnahmen sind in ihrem Ausmaß und ihrer regionalen Verteilung noch weitgehend unbekannt, erste lückenhafte Erkenntnisse gibt es bis dato nur aus theoretischen Studien bzw. computergestützten Simulationen. Die Komplexität des Klimasystems macht es notwendig, dass entsprechende Modellierungen auf starken Vereinfachungen des Klimasystems basieren und oftmals wichtige Rückkopplungsmechanismen oder andere Effekte nicht hinreichend berücksichtigen können. Um auch regionale Effekte von potenziellen RM-Maßnahmen besser voraussagen zu können, sind weitere Anstrengungen im Bereich der theoretischen Klimaforschung sowie bessere Erdsystemmodelle erforderlich – dies gilt allerdings genauso, um das Verständnis über mögliche Folgen eines unkompensierten Klimawandels zu verbessern.

Auf der Grundlage des gegenwärtig noch sehr begrenzten Erkenntnisstandes kann theoretisch vermutet werden, dass die meisten der vorgeschlagenen RM-Maßnahmen im Vergleich zu einer Situation ohne eine absichtlich erfolgte Klimamanipulation gegebenenfalls tatsächlich eine Dämpfung der Temperaturerhöhung oder auch eine Temperaturminderung bewirken könnten – allerdings wäre diese Änderung global nicht gleichmäßig verteilt. Hinsichtlich der globalen Nieder-



## ZUSAMMENFASSUNG

schlagsmuster würde eine RM-Intervention wahrscheinlich zu einem gegenüber heute trockenerem Klima führen, während ein unkontrollierter Klimawandel ein feuchteres Klima bedeuten könnte. Die bisherigen theoretischen Untersuchungen zeigen, dass RM-Maßnahmen nicht nur in Bezug auf ihre Wirkung auf die globale Mitteltemperatur, sondern ebenso in Bezug auf ihre Wirkung auf alle Klimavariablen in ihren lokalen Ausprägungen untersucht und bewertet werden müssen und der Nutzen bzw. die Risiken und Kosten einer RM-gestützten Klimaschutzpolitik global ungleichmäßig verteilt wären. Ob die ökologischen und sozialen Folgen einer RM-Intervention im Vergleich zu den Gegebenheiten eines unkompensierten Klimawandels als geringer einzuschätzen wären, ist gegenwärtig höchst ungewiss.

In der Gesamtschau handelt es sich bei den bisher vorgeschlagenen Optionen des Climate Engineering um sehr unterschiedliche Technologien, die sich teilweise grundlegend hinsichtlich ihrer Wirkmechanismen und potenziellen Wirkungen, der Realisierbarkeit, aber auch hinsichtlich ihrer Risikoprofile unterscheiden. Eine Unterscheidung in sogenannte *lokale* bzw. *globale* CE-Technologien scheint daher zweckmäßig: Zentraler Aspekt der lokalen CE-Technologien ist, dass diese gebietsbezogen einsetzbar und absehbar nur mit räumlich eingrenzbaaren und eher geringen Umweltnebenfolgen verbunden wären. Zu diesen lassen sich u. a. die Produktion und Bodenapplikation von Biokohle sowie die CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus der Luft bzw. in Kombination mit der Energiegewinnung aus Biomasse mit anschließender CO<sub>2</sub>-Lagerung zählen. Globale CE-Technologien würden in Bezug auf ihren Anwendungsmaßstab sowie auf damit verbundene potenzielle Umweltfolgen grundsätzlich großskalige bis globale Ausmaße annehmen. Dies betrifft unter anderem die ozeanbasierten CDR-Technologien sowie alle RM-Technologien, die in der Atmosphäre oder im Weltraum durchgeführt würden.

---

## GESELLSCHAFTSPOLITISCHER DISKURS

Bis Mitte der 2000er Jahre war Climate Engineering ausschließlicher Gegenstand von Erörterungen in den Naturwissenschaften, seit einigen Jahren beteiligen sich auch andere Disziplinen wie Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften sowie Philosophie. Geforscht wurde und wird vorrangig im OECD-Raum mit einem starken Fokus im englischsprachigen Raum, allen voran in den USA und Großbritannien, aber auch in Deutschland. Die politische und mediale Öffentlichkeit hatte bisher wenig Anteil an den Debatten. Abgesehen von den Verhandlungen im Rahmen der Biodiversitätskonvention und der Londoner Abkommen (zur Verhütung der Meeresverschmutzung) ist Climate Engineering bislang auch kein Thema auf der großen internationalen Politikbühne.

Eine erste politische und gesellschaftliche Auseinandersetzung mit dem Themenfeld Climate Engineering findet gegenwärtig nur in sehr wenigen Staaten statt, wesentliche Impulse gehen dabei von den USA, Großbritannien sowie von

Deutschland aus. Die Regierungen Großbritanniens und Deutschlands haben sich – zunächst eher zögerlich – nach Aufforderung durch die jeweiligen Parlamente zu Climate Engineering geäußert. Die US-amerikanische Regierung hat – trotz Anhörungen im US-Kongress zum Thema – bislang noch keine Stellung zu Climate Engineering bezogen. Zwar wird praktisch in allen bekannten politischen Äußerungen die Priorität der Emissionsreduktion hervorgehoben, doch nehmen britische und amerikanische Parlamentarier v. a. Bezug auf die Möglichkeit eines katastrophalen Klimawandels, der gegebenenfalls mit CE-Technologien beherrscht werden könnte, und sprechen sich für weitergehende Forschungs- und Regulierungsanstrengungen aus. Die Bundesregierung will sich mit Verweis auf erhebliche Forschungsdefizite dafür einsetzen, dass Climate Engineering ohne ausreichende Erkenntnisse zur Abschätzung und Bewertung der Wirkungen, Risiken und möglichen Folgen sowie ohne international abgestimmte Regelungsmechanismen nicht zur Anwendung kommt.

Aus anderen Ländern können keine vergleichbaren politischen Aktivitäten berichtet werden; soweit erkennbar haben sich weder Parlamente noch Regierungen anderer OECD-Staaten mit dem Themenfeld Climate Engineering auseinandergesetzt. Auch aus den BRICS-Staaten, in denen Climate Engineering perspektivisch eine erhebliche Bedeutung erlangen könnte, sind bis dato keine politischen Aktivitäten oder Positionierungen bekannt. In diesen Ländern tragen – wenn überhaupt – nur die Wissenschaftsministerien und -berater zur Debatte bei. Die Reflexion der Debatten in Europa und Nordamerika sowie das zunehmende Interesse – deutlich durch das ansteigende Volumen der Berichterstattung – sprechen allerdings dafür, dass in den BRICS-Staaten die CE-(Forschungs-)Aktivitäten der OECD-Staaten aufmerksam verfolgt werden.

Insgesamt kann konstatiert werden, dass eine tiefergehende und nachhaltige gesellschaftliche Auseinandersetzung mit dem Themenfeld in Deutschland – aber auch in anderen Staaten – noch ausgeblieben ist. So hat etwa die politische Debatte über das LOHAFEX-Experiment 2009 gezeigt, dass die Politik in Deutschland für das Thema Climate Engineering nicht ausreichend sensibilisiert bzw. vorbereitet war. Und auch die öffentliche Diskursentwicklung ist nur rudimentär. Dies kann prinzipiell als Defizit angesehen werden, denn eine nationale und internationale politische Debatte wäre nicht nur notwendig, um die Aufmerksamkeit des lange Zeit von einem stark lösungsorientierten Ansatz geprägten wissenschaftlichen CE-Diskurses – der insbesondere Fragen nach der Effektivität, der technischen Machbarkeit und möglichen Umweltrisiken entsprechender Maßnahmen nachgeht – verstärkt auch auf die potenziellen gesellschaftlichen Implikationen dieser Strategien lenken zu können. Es geht auch darum, mögliche Problemlagen, die sich bereits im Rahmen der sich verstärkenden allgemeinen Diskussion über Climate Engineering bzw. sich intensivierenden Forschungsanstrengungen ergeben könnten, rechtzeitig zu erkennen und anzugehen, bevor die Folgen dieser Entwicklung nichtrevidierbare Fakten geschaffen haben.



## ZUSAMMENFASSUNG

Letztlich dürfen Entscheidungen darüber, ob und wie Climate Engineering weiter erforscht, entwickelt und gegebenenfalls eingesetzt werden soll, nicht nur von der Wissenschaft autonom getroffen werden; dies obliegt der Politik bzw. der Gesellschaft als Ganzes. Vor diesem Hintergrund sollte das Thema Climate Engineering mit all seinen Aspekten und Facetten politisch aufgegriffen und besetzt werden, um damit die weitere Entwicklung proaktiv mitgestalten zu können. Dies ist nicht zuletzt auch deswegen von Bedeutung, weil durch das aktuelle und explizite Aufgreifen des Themas durch den Weltklimarat IPCC nunmehr eine Aufwertung und wachsende Politisierung des Themenfeldes sowie eine erhöhte Medienaufmerksamkeit erwartet werden kann.

### ANSÄTZE ZUR BEURTEILUNG VON CLIMATE ENGINEERING

Der wissenschaftliche, aber insbesondere auch der politische und gesellschaftliche Prozess, das aufkommende Technologiefeld Climate Engineering einer seriösen Beurteilung zu unterziehen, befindet sich noch in den Anfängen. Dabei beruhen die verschiedenen Positionen teils auf einer noch sehr unsicheren naturwissenschaftlichen Wissensbasis, auf unterschiedlichen Zukunftsprojektionen sowie auf verschiedenen Motiv- und Interessenslagen und gesellschaftspolitischen Kontexten. Um die vorgebrachten Argumente für oder wider Climate Engineering auf ihre Stichhaltigkeit und Plausibilität hin zu überprüfen, müssen die ihnen zugrundeliegenden empirischen und (teils verborgenen) normativen Annahmen explizit offengelegt werden. Nur so sind eine transparente Diskussion und eine fundierte gesellschaftliche und politische Meinungsbildung über Climate Engineering möglich. Ausgangspunkt eines gesellschaftspolitischen Meinungsbildungsprozesses ist eine entsprechende Gestaltung des Diskurses über die mögliche Nützlichkeit oder gegebenenfalls auch Notwendigkeit der (weiteren) Erforschung und Entwicklung (bestimmter) CE-Technologien. Dieser wiederum beinhaltet gegebenenfalls die Eruiierung überzeugender Argumente und Begründungen für (oder auch gegen) den klimapolitischen Nutzen entsprechender Technologien sowie eine Abwägung des Nutzens gegenüber gesamtgesellschaftlichen Risiken einer auf Climate Engineering basierenden Klimaschutzpolitik.

Eine mögliche (und häufiger vorgebrachte) Argumentation für die Notwendigkeit bzw. Sinnhaftigkeit von Climate Engineering wird beispielsweise insofern in Anschlag gebracht, als der Beurteilungsprozess primär auf einer ökonomischen Bewertung von CE-Technologien im direkten Vergleich mit den aktuellen klimapolitischen Handlungsoptionen gründet. So wird vermutet, dass sich gewisse CE-Maßnahmen gemessen an den direkten Kosten gegenüber den herkömmlichen Reduktions- und Anpassungsmaßnahmen als kosteneffizienter darstellten. Allerdings müssen auch die gesamtwirtschaftlichen Konsequenzen aus den potenziellen Nebenfolgen entsprechender CE-Aktivitäten berücksichtigt werden, die namentlich im Kontext der globalen CE-Technologien aktuell so gut wie unbekannt sind. Die Legitimierung von Handlungen auf alleiniger Grundlage einer

ökonomischen Bewertung ist zudem sehr problematisch. Mindestens im Hinblick auf globale CE-Technologien müssten alle Voraussetzungen, die einer ökonomischen Bewertung – auch in ethischer Hinsicht – implizit zugrunde liegen, transparent gemacht und öffentlich diskutiert werden, bevor die ökonomische Bewertung globaler CE-Technologien eine Entscheidungshilfe oder -grundlage im politischen Umgang mit diesen Technologien bieten könnte. Für lokale CE-Technologien, die von begrenzter Komplexität sind, könnte eine ökonomische Bewertung unter Einbezug aller Externalitäten hingegen möglicherweise sinnvoll und einfacher zu bewerkstelligen sein – allerdings wären auch hierfür die Daten Grundlagen deutlich zu verbessern.

Eine andere Begründung für die Notwendigkeit von Climate Engineering lautet, dass klimapolitische Zielsetzungen (z. B. das 2-°C-Ziel) nur noch erreicht werden können, sofern (gegebenenfalls ergänzend zur Emissionsreduktion) geeignete CE-Technologien zum Einsatz gelangen. So kann mit Blick auf aktuelle Klima- und Emissionsprojektionen zurzeit nicht ausgeschlossen werden, dass bestimmte (lokale) CDR-Technologien perspektivisch zu wichtigen Komponenten einer ambitionierten Klimaschutzpolitik avancieren könnten. Die Perspektive auf eine substantielle Anwendung dieser Technologien sollte allerdings nicht zu falschen Schlüssen über die kurz- bis mittelfristig erforderliche Reduktion des globalen THG-Ausstoßes führen, etwa dahingehend, dass dringend erforderliche Reduktionsbemühungen nicht unverzüglich angegangen, sondern in die Zukunft verschoben werden (können). Denn wenn das Potenzial dieser Technologien überschätzt wird oder sich die Realisierbarkeit infolge mangelnder Akzeptanz oder technischer Probleme als unmöglich erweist, könnte dies zu einer Situation führen, dass – möglicherweise unwiderruflich – keines der ursprünglich anvisierten Klimaziele erreicht werden kann.

Eine weitere bekannte Argumentationslinie plädiert unter Vorsorgeaspekten für die Entwicklung schnell wirkender CE-Technologien, um diese in der Situation eines klimatischen Notfalls einsatzbereit zur Verfügung zu haben. Sie erscheint auf den ersten Blick plausibel und attraktiv, denn im situativen Fall eines unerwartet folgenschweren Klimawandels könnten zukünftige Generationen substantielle CE-Maßnahmen gegebenenfalls als wünschenswert und notwendig einschätzen. Der Versuch einer solchen Legitimierung einsatzbereiter CE-Technologien ist jedoch auch kritisch zu beleuchten, zumindest aus der heutigen Perspektive. Denn wohl nicht die jetzige, sondern aller Voraussicht nach künftige Generationen werden möglicherweise mit einem katastrophalen Klimawandel konfrontiert – der jedoch durch frühere Generationen herbeigeführt wurde. Wenn künftige Generationen absichtlich in eine Notsituation gebracht werden, die durch das Verhalten heutiger noch zu verhindern gewesen wäre, ist ihnen weit mehr als nur die Erforschung von CE-Technologien geschuldet. Denkbar ist u. a., dass heutige Generationen ihre Anstrengungen zur Reduktion des weltweiten THG-Ausstoßes massiv erhöhen (etwa durch einen vollständigen Umbau des



## ZUSAMMENFASSUNG

Energiesystems auf eine emissionsfreie Energieversorgung), um künftige Generationen vor einem möglichen Eintreten der Klimakatastrophe zu bewahren.

Antworten auf die Fragen, ob lokale CDR-Technologien in Ergänzung zu THG-Emissionsreduktionsstrategien eingesetzt, ob globale CDR-Technologien weiter erforscht und globale RM-Technologien für künftige Generationen als »Notfalltechnologien« bereitgestellt und welche Risiken dafür in Kauf genommen werden sollten, können letztlich nur von einem breit angelegten gesellschaftspolitischen und wissenschaftlichen Diskurs und Risikodialog unter Einbindung aller relevanten Akteursgruppen (Politik, Wissenschaft, Industrie, Umweltschutzverbände, Öffentlichkeit, Medien etc.) gegeben werden. Dieser sollte einen kontinuierlichen Austausch über die jeweiligen Vorstellungen zur Bedeutung und Wünschbarkeit spezifischer CE-Technologien für den nationalen und internationalen Klimaschutz und über gegenseitige Erwartungen im Umgang mit diesen Technologien erlauben. Um die internationalen Dimensionen entsprechender Strategien von Beginn an angemessen berücksichtigen zu können, sollte zumindest im Hinblick auf die global wirkenden CE-Technologien der Kreis der Diskursteilnehmenden nicht nur auf deutsche Stakeholder beschränkt werden. Stattdessen wären insbesondere auch relevante Akteure aus Ländern einzubinden, die von einem fortschreitenden Klimawandel bzw. von den regional unterschiedlichen Auswirkungen von CE-Maßnahmen besonders betroffen wären.

Ziel eines solchen Diskussions- und Verständigungsprozesses wäre es, einen möglichst breiten gesellschaftlichen Konsens für den weiteren Umgang mit diesen Technologien (sei es die grundlagenorientierte Forschung, die Herstellung der technischen Einsatzbereitschaft oder den konkreten Einsatz betreffend) herstellen zu können. Angesichts der Komplexität des Themenfeldes sowie des großskaligen und generationsübergreifenden Wirkungscharakters vieler CE-Maßnahmen stellt es eine besondere Herausforderung dar, die diesen Technologien inhärente Eingriffstiefe und damit verbundene ökologische, sozioökonomische und geopolitische Konsequenzen und Unsicherheiten zu identifizieren sowie ihre Beurteilung plausibel und nachvollziehbar zu machen. Diesbezüglich kommt den Akteuren aus Politik und Wissenschaft eine große Verantwortung zu. Diese äußerst anspruchsvolle Aufgabe sollte in Angriff genommen werden, bevor ein weiter voranschreitender Klimawandel den Zeithorizont für Entscheidungen und (Forschungs-)Aktivitäten zu Climate Engineering zu sehr limitieren würde.

### KONKRETISIERUNG BZW. GESTALTUNG DER ÖFFENTLICHEN DEBATTE

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. Umfragen (überwiegend im englischen Sprachraum) lassen auf einen noch sehr dürftigen Kenntnisstand in der Bevölkerung schließen. Eine bes-

sere 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 breiter 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 Bürger/-innen, die beispielsweise durch die staatlichen bzw. politischen, gewerkschaftlichen, kirchlichen oder privaten Bildungs- und Weiterbildungseinrichtungen organisiert werden könnten und ein frühzeitiges Dialogforum für die Akteursgruppen aus Öffentlichkeit, Wissenschaft und Politik böten. Da es sich bei Climate Engineering und generell dem Klimaschutz um ein sehr dynamisches Forschungs- und Politikfeld handelt, wäre auf eine kontinuierliche bzw. anpassbare Informationsstrategie zu achten.

Aufgebaut werden könnte diesbezüglich auf Erfahrungen aus anderen komplexen technologie- und forschungspolitischen Feldern. So diene etwa im Bereich der Nanotechnologie in Deutschland das Projekt »NanoCare« (2006–2009) der Etablierung einer strukturierten Wissensbasis zu Nanotechnologie insgesamt sowie zu den hier relevanten Sicherheitsaspekten, die in einer verständlichen Form für die Öffentlichkeit zugänglich gemacht bzw. mit ihr gemeinsam erarbeitet wurden, um dem wachsendem Informationsbedürfnis Rechnung zu tragen. Unterstützt wurde dies durch Dialogveranstaltungen mit Bürgern und Stakeholdern aus Politik, Wirtschaft und Verbänden. Der durch die Politik initiierte »Aktionsplan Nanotechnologie« bietet für Industrie und Wirtschaft, Verwaltungen und zugleich auch für Forschung, Bildung und Politik die gemeinsame Plattform für einen sicheren und nachhaltigen Umgang mit der Nanotechnologie in all ihren Facetten. Vorstellbar wären ähnliche Initiativen auch für den Bereich Climate Engineering – perspektivisch z. B. ein »CE-Aktionsplan«. In diesem Zusammenhang wäre rechtzeitig zu klären, welchen Ministerien und ihnen nachgeordneten Behörden (BMBF, BMUB, UBA, BMWi, BMEL etc.) auf Bundesebene welche Zuständigkeiten im Hinblick auf die verschiedenen FuE- und Einsatzszenarien des Climate Engineering obliegen; bislang wurden die Zuständigkeiten für Climate Engineering noch nicht verbindlich definiert.

---

## FORSCHUNGSPOLITISCHE ASPEKTE

Insgesamt sind die wissenschaftlichen Grundlagen bis dato bei Weitem nicht ausreichend, um die klimapolitische Nützlichkeit und gesellschaftliche Wünschbarkeit von Climate Engineering belastbar beurteilen zu können. Die Leistungsfähigkeit als Klimaschutzmaßnahme konnte bisher bei keinem der derzeit diskutierten CE-Konzepte belegt werden. Ebenso sind die Erkenntnisse über Qualität und Umfang möglicher klimatischer und ökologischer Auswirkungen und Risiken entsprechender Maßnahmen noch sehr lückenhaft bzw. gar nicht vorhan-



## ZUSAMMENFASSUNG

den. Weil außerdem Fragen über mögliche gesellschaftspolitische und sozioökonomische Folgen von CE-basierten Klimapolitiken derzeit nicht annähernd zufriedenstellend beantwortet werden können, ergibt sich hier auch für die sozialwissenschaftliche Forschung ein dringender und großer Bedarf.

Entsprechend begründet die überwiegende Mehrzahl der im CE-Feld tätigen Forschenden aus den Natur-, Ingenieur- und Sozialwissenschaften ihr Forschungsengagement mit dem Anspruch, zur Erhöhung der Bewertungskompetenz eine bessere Erkenntnisbasis bereitzustellen, ohne dass damit eine Entwicklungsabsicht im Sinne der Bereitstellung entsprechender Technologien verknüpft wäre. Dies ist ebenso das erklärte Ziel der bisherigen und laufenden öffentlichen Auftragsforschung in Deutschland zu Climate Engineering, etwa im Rahmen des neuen Schwerpunktprogramms der DFG. Implizit wird angenommen, dass diese Art der Forschung ohne bzw. mit vernachlässigbaren negativen Folgen – im Vergleich zum Nutzen aus dem gewonnenen Erkenntnisgewinn – betrieben werden kann. In Bezug auf potenzielle Umweltfolgen und mit Blick auf naturwissenschaftlich-technische Fragestellungen trifft diese Annahme sicher für theoretisch ausgerichtete Forschungsbemühungen sowie – unter gewissen Voraussetzungen – auch für Feldversuche mit einem beschränkten räumlichen Umfang zu (insbesondere bei lokalen CDR-Maßnahmen). Im Kontext der globalen CE-Technologien stellt sich angesichts ihres inhärent globalen Wirkungscharakters allerdings die Problematik, dass der aus diesen Forschungsaktivitäten zu erwartende Erkenntnisgewinn möglicherweise nicht ausreichend für einen fundierten Bewertungsprozess ist und dazu auch größere und unter Umständen bereits mit deutlichen Umwelttrisiken verbundene Feldversuche notwendig wären. Im Mittelpunkt steht daher die Frage, wie eine verantwortungsvolle CE-Forschung gestaltet werden kann.

Eine weitere Kernfrage lautet, ob und in welcher Form eine entsprechende Forschung zum gegenwärtigen Zeitpunkt (über die bisherigen Aktivitäten hinaus) gezielt gefördert werden soll. Vonseiten der Wissenschaft wird ins Feld geführt, dass eine Entscheidung gegen die weiter intensiviert erforschte dieses Technologiefelds bedeuten könnte, keinen Einfluss auf internationale Entwicklungen nehmen zu können. Es wird daher eine substanzielle, nachhaltige Beteiligung deutscher Wissenschaftler gefordert, letztlich insbesondere auch deshalb, um gesellschaftliche Teilhabe und Entscheidungen auf einer informierten und wissenschaftsbasierten Grundlage vornehmen zu können. Der Mehrwert einer starken deutschen Forschungsbeteiligung wird implizit auch darin gesehen, dass durch die Prioritätensetzung auf »Forschung zur Feststellung der Folgen und deren Bewertung« wichtige Aspekte und Impulse für die internationale CE-Debatte gegeben werden. Das Votum für einen starken deutschen Forschungsbeitrag, der den Blick auf mögliche ökologische und soziale Risiken des Climate Engineering lenkt, erscheint problemangemessen und überzeugend.



Im Rahmen forschungspolitischer Entscheidungen ist aber auch zu beachten, dass Deutschland im internationalen Vergleich bereits jetzt zu den führenden Forschungsnationen im Kontext des Climate Engineering gehört. Bei einem noch stärkeren deutschen CE-Forschungsengagement wäre es gerade auch im Hinblick auf den erst im Entstehen begriffenen weltweiten gesellschaftspolitischen Meinungsbildungsprozess geboten, die Motive und Ziele deutscher Forschungsbemühungen dezidiert und transparent gegenüber der nationalen und weltweiten Öffentlichkeit zu kommunizieren und zu begründen. Ansonsten ließe sich unter Umständen ein sehr starkes Forschungsengagement auch dahingehend deuten, dass überwiegend technische Lösungen zur Kompensation schädlicher Folgen eines Klimawandels im Vordergrund stehen. Auch könnte es international für Irritationen sorgen, wenn bei gesellschaftlichen oder politischen Akteuren in anderen Staaten der Eindruck entstünde, Deutschland hielte einen Erfolg der weltweiten Bemühungen zur Reduktion des THG-Ausstoßes für nicht mehr wahrscheinlich bzw. die aktuellen klimapolitischen Maßnahmen für nicht zielführend.

Weil die vorgeschlagenen CE-Konzepte aller Voraussicht nach keine singulären Lösungen für das Problem des Klimawandels, sondern – wenn überhaupt – bestenfalls eine flankierende Maßnahme zu den herkömmlichen klimapolitischen Maßnahmen bieten, bleibt die nachhaltige Reduktion des anthropogenen THG-Ausstoßes und die Entwicklung gegebenenfalls notwendiger Anpassungsmaßnahmen an die Folgen des Klimawandels die Hauptaufgabe aller Staaten und deren Forschungsanstrengungen. Grundsätzlich sollte die Erforschung von Technologien bzw. Anwendungsmöglichkeiten des Climate Engineering daher nicht zulasten dieser Bemühungen gehen.

#### FORSCHUNGSANSÄTZE

Durch ihre Ausrichtung auf die naturwissenschaftliche Grundlagen- und sozialwissenschaftliche Begleitforschung leistet die deutsche Forschung einen substantiellen Beitrag zur Schaffung der wissenschaftlichen Basis für die bessere Bewertung von Climate Engineering. Ein Defizit in der Auslegung deutscher Forschungsaktivitäten zu Climate Engineering kann allerdings in einer unklaren Differenzierung zwischen lokalen CDR-Technologien einerseits sowie globalen CDR- und RM-Technologien andererseits gesehen werden: Während eine rein grundlagenbezogene Herangehensweise im Kontext der globalen CE-Technologien zurzeit durchaus angemessen erscheint, kann sich diese bei den lokalen CDR-Technologien gegebenenfalls als zu engführend erweisen. Denn die prospektive Bedeutung von spezifischen lokalen CDR-Technologien für die künftige (nationale und internationale) Klimaschutzpolitik lässt bereits heute intensive anwendungs- und praxisbezogene Forschungsanstrengungen als sinnvoll erscheinen.

Bezüglich der relevanten *lokalen CDR-Technologien* wären vor allem folgende Aspekte in den Blick zu nehmen: Für eine prospektive Integration spezifischer



## ZUSAMMENFASSUNG

lokaler CDR-Technologien in das Maßnahmenportfolio nationaler und/oder internationaler Klimaschutzstrategien sind deren klimatische Wirkung, d. h. Menge *und* Zeitdauer der erzielten CO<sub>2</sub>-Entlastung der Atmosphäre, sowie diesbezügliche ökologische und sozioökonomische Auswirkungen zu quantifizieren. Hier können bekannte Analyse- und Bewertungsmethoden – wie die Kohlenstoffbilanzierung oder ökonomische Kosten-Nutzen-Abwägungen – durchaus adäquate Unterstützung bieten, etwa um die Sinnhaftigkeit von Projekten zur Biokohleproduktion gegenüber konkurrierenden biomassebasierten Klimaschutzinstrumenten wie der Herstellung von Bioenergieträgern zu evaluieren. Zu problematisieren wäre es jedoch, wenn der Versuchs- und gegebenenfalls spätere Einsatzmaßstab der lokalen CDR-Technologien einen Umfang erreichen würde, der Nutzungs- und Verteilungskonflikte um knappe natürliche Ressourcen (Fläche, fruchtbarer Boden, Wasser, Nährstoffe etc.) oder Zielkonflikte mit anderen umweltpolitischen Schutzgütern (Biodiversität, Gewässerschutz etc.) generiert. Dann stellten sich ähnliche Herausforderungen, wie sie beispielsweise im Kontext der großflächigen Energieerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen bekannt sind. Notwendig ist eine genaue und umfassende Erforschung, wie sich lokale CDR-Technologien so in bestehende Energiesysteme, Landnutzungskonzepte oder Stoffströme einbinden ließen, dass Konkurrenzsituationen vermieden und mögliche Synergieeffekte bestmöglich genutzt werden könnten.

Auch für ein besseres Verständnis der Wirkungen und Nebenwirkungen von *globalen CE-Technologien* wären weitere erhebliche Forschungsanstrengungen notwendig. Stellvertretend für die grundsätzliche Problematik der Erforschung von globalen CE-Maßnahmen kann die Ozeandüngung zur Verstärkung der CO<sub>2</sub>-Aufnahmekapazität der Meere (als eine global wirkende CDR-Technologie) angeführt werden: Die bisher durchgeführten Feldversuche verdeutlichen, dass die potenzielle Leistungsfähigkeit von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängt, über deren komplexes Zusammenspiel nur äußerst wenig gesichertes Wissen vorhanden ist. Noch begrenzter sind Erkenntnisse über den Einfluss einer großflächigen Ozeandüngung auf die Meeresumwelt sowie zu möglichen sekundären Folgewirkungen auf das Klima. Um das erst im Ansatz vorhandene Wissen zu erweitern, wäre weitergehende Grundlagenforschung – gegebenenfalls in Form von großflächigen Feldversuchen mit langen Beobachtungszeiten – sowie die Weiterentwicklung von Modellsimulationen mariner Prozesse notwendig. Allerdings könnten die unter Umständen notwendigen großskaligen Feldversuche bereits sehr negative und möglicherweise irreversible Nebenwirkungen für die globalen Meeresökosysteme hervorrufen.

Im Kontext der *globalen RM-Technologien* scheinen anwendungs- und praxisbezogene Forschungsanstrengungen bzw. konkrete Feldversuche zu den verschiedenen RM-Technologien (wie sie vereinzelt in den USA und Großbritannien geplant sind oder punktuell bereits stattgefunden haben) zum gegenwärtigen Zeit-

punkt nicht besonders sinnvoll zu sein. Zunächst sollten hier die prinzipiellen Funktionsweisen, Wirkungen und Nebenwirkungen entsprechender Konzepte theoretisch abgeklärt werden; diesbezüglich sind insbesondere die Möglichkeiten von Modellierungsstudien noch lange nicht ausgeschöpft.

## ÜBERGEORDNETE FORSCHUNGSTHEMEN

Mit Blick auf das naturwissenschaftliche Grundlagenwissen und die sozialwissenschaftliche Forschung ließen sich die bisherigen Aktivitäten durch folgende Themenstellungen erweitern, die durch die nationalen und internationalen Forschungsanstrengungen bisher nicht bzw. nur ungenügend abgedeckt wurden:

*Öffentliche Wahrnehmung zu Climate Engineering in Deutschland und anderen Ländern:* Zur Wahrnehmung und Beurteilung von Climate Engineering in der deutschen Öffentlichkeit gibt es noch keine empirische Datenbasis. Im Hinblick auf das Ziel einer gesellschaftlichen Verständigung über Climate Engineering insgesamt bzw. über mögliche konkrete CE-Maßnahmen erscheint eine Erweiterung der Datenlage zwingend erforderlich. Ein erster Schritt dazu könnte in der Durchführung repräsentativer Öffentlichkeitsdialoge bestehen. Dabei wäre auf einen fortlaufenden Dialog zu achten, da die öffentliche Meinung kontextabhängig ist und sich mit der Zeit ändern kann. Vor dem Hintergrund der globalen Dimensionen des Climate Engineering ist auch die Haltung der Öffentlichkeit aus anderen Ländern relevant, die bis dato ebenfalls so gut wie nicht bekannt ist. Hier besteht dringender Nachholbedarf, insbesondere in Bezug auf die vom Klimawandel besonders stark betroffenen Entwicklungsländer.

*Auswirkungen der Erforschung von Climate Engineering auf die politischen Bemühungen zur Reduktion der THG-Emissionen:* Hierbei von Bedeutung wären Untersuchungen zu individuellen und kollektiven Verhaltensänderungen und Prioritätenverschiebungen, etwa dahingehend, dass der Ausblick auf globale RM-Technologien ein prorsikobehaftetes Verhalten fördert oder Staaten prinzipiell die Möglichkeit eröffnet, das Problem der Erderwärmung (nötigenfalls) auch erst in einigen Jahrzehnten und ohne globale Kooperation anzugehen. Ob bzw. welches Ausmaß derartige Verschiebungen annehmen könnten, darüber ist noch wenig bekannt. Aufschluss über diese Fragen böten beispielsweise politische Szenarienanalysen, die mögliche Interessen und Motivlagen einzelner Staaten bzw. Gruppen von Staaten offenlegen. Ziel wäre hier, mögliche Entwicklungen frühzeitig zu antizipieren und Handlungsoptionen zu entwickeln, wie gegebenenfalls darauf reagiert werden könnte.

*Ökonomische Analysen bzw. Bewertung von CE-Technologien:* Derzeit ist der Wissensstand über Nutzen- und Kostenaspekte der verschiedenen CE-Technologien noch äußerst lückenhaft und beschränkt sich im Wesentlichen auf einfache Schätzungen zu den Betriebskosten der einzelnen Maßnahmen in Abhängigkeit von ihrer mutmaßlichen klimatischen Wirkung. Dies erlaubt zurzeit bestenfalls



## ZUSAMMENFASSUNG

die wenig belastbare Einschätzung, dass lokale CDR-Technologien bei ansteigenden CO<sub>2</sub>-Grenzvermeidungskosten betriebswirtschaftlich profitabel werden können, solange sie nicht mit signifikanten Umweltfolgen verbunden sind und es auch nicht zu stark steigenden Rohstoff- und Betriebsmittelkosten kommt. Für eine volkswirtschaftliche Bewertung zukünftiger Anwendungen globaler CE-Technologien müssten die gesamtwirtschaftlichen Konsequenzen aus potenziellen Nebenfolgen entsprechender CE-Aktivitäten berücksichtigt werden, die aktuell allerdings so gut wie unbekannt sind. Hier besteht – angesichts der Komplexität des Untersuchungsgegenstands – umfassender Forschungsbedarf und die Notwendigkeit der Entwicklung geeigneter Methoden, um CE-induzierte Effekte bzw. (unerwünschte) Nebeneffekte abbilden und in die ökonomische Bewertung integrieren zu können.

*Portfolioansatz:* Ein Defizit der bisherigen wissenschaftlichen Befassung mit Climate Engineering ist, dass die verschiedenen diskutierten CE-Technologien zumeist isoliert voneinander auf ihre klimapolitische Relevanz bzw. Nützlichkeit (oder Risikobehaftung) hin untersucht werden. Maßnahmen der Anpassung an den Klimawandel spielten in entsprechenden Projektionen bisher keine Rolle. Womöglich böte aber ein Anwendungsmix aus allen zur Verfügung stehenden Maßnahmen eine aus gesellschaftspolitischer und sozioökonomischer Perspektive sinnvolle bzw. zielführende Antwort auf die Herausforderungen des Klimawandels. Hierzu wären der Nutzen und die Risiken von Portfolioansätzen, die z. B. eine niedrig dosierte CE-Intervention in Kombination mit Reduktions- und Anpassungsmaßnahmen vorsehen, verstärkt in den Blick zu nehmen.

*Reflexiver Forschungsprozess:* In Anbetracht der Vielfalt an Forschungsfeldern, Problemlagen und offenen Fragen bei Climate Engineering – und insbesondere angesichts der globalen Tragweite und Eingriffstiefe möglicher CE-Maßnahmen – gilt es sowohl in der Wissenschaftsgemeinde selbst als auch in der institutionellen Forschungspolitik zu klären, welche Forschungsaspekte prioritär und welche nachrangig angegangen werden sollen. Zu diesem Zweck könnten bzw. sollten die verschiedenen Forschungsinhalte, -kontexte und -prozedere selbst Gegenstand des Forschungsprozesses werden. Hierdurch ließe sich gegebenenfalls gewährleisten, dass die strategische »Themenfindung« für dringend anzugehende Forschungsinhalte transparent und nachvollziehbar auf Basis plausibler Forschungsfragen und -annahmen gestaltet wird. Für die Politik könnte sich nämlich zum jetzigen Zeitpunkt – angesichts einer bis dato noch sehr überschaubaren »CE-Forschungscommunity« – die möglicherweise problematische Konstellation ergeben, dass Wissenschaftler, deren Expertise zur Unterstützung einer politischen Entscheidungsfindung benötigt wird, oftmals zugleich auch die (einzigen) Forschungshandelnden im Themenfeld Climate Engineering sind.

---

## RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

Zu konstatieren ist, dass sowohl im nationalen als auch im europäischen Rechtsrahmen keine spezifischen gesetzlichen oder institutionellen Rahmungen für die Erforschung, Entwicklung und Anwendung von CE-Technologien existieren. Abgesehen von wenigen Ausnahmen enthält auch das Völkerrecht keine Vorgaben, die CE-Aktivitäten explizit und wirksam regulieren. Aktuell könnte gegebenenfalls lediglich eine indirekte Regulierung erfolgen, weil eine mögliche Nebenfolge eine unzulässige Modifikation oder auch Verschmutzung von umweltpolitischen Schutzgütern bedeuten könnte.

### VÖLKERRECHTLICHE EBENE

Für die rechtliche Beurteilung von Climate Engineering liegt es aufgrund des globalen Charakters solcher Maßnahmen sowie der möglicherweise (unerwünschten) globalen Nebenfolgen nahe, insbesondere das Völkerrecht heranzuziehen. Allerdings wurden die meisten völkerrechtlichen Regelungen ohne Erwähnungen von Climate Engineering verhandelt und enthalten daher keine ausdrücklichen Regelungen hierzu. Gleichwohl könnten manche Aktivitäten oder deren Auswirkungen bestimmte bestehende Rechtsbereiche verletzen. Deshalb kommt es maßgeblich auf die Interpretation der eventuell anwendbaren völkerrechtlichen Verträge an. Diesbezüglich wird in den bisherigen Rechtsdiskursen den RM-Maßnahmen eine »größere Skepsis« als den CDR-Maßnahmen entgegengebracht.

Zwar enthält das Völkergewohnheitsrecht einige auf alle Staaten und auf alle Konzepte des Climate Engineering prinzipiell anwendbare Regeln, die gegebenenfalls auch legitime Erwartungen der Staaten begründen könnten, jedoch sind die Inhalte sowohl der jeweiligen Regeln als auch deren Zusammenspiel zu unbestimmt, um vorab rechtlich gesicherte Aussagen über CE-Aktivitäten machen zu können und Climate Engineering ausreichend zu regulieren. In Bezug auf das Völkervertragsrecht haben bis dato einzig die Vertragsparteien der Londoner Abkommen (Londoner Konvention zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch das Einbringen von Abfällen und anderen Stoffen und das dazugehörige Londoner Protokoll) sowie der Biodiversitätskonvention eine explizite Regulierung (bestimmter) CE-Technologien in Angriff genommen. Die unter der Biodiversitätskonvention erarbeiteten Regeln sprechen zwar CE-Aktivitäten im Allgemeinen an, sie entfalten jedoch keine rechtliche Bindungswirkung, sodass Verstöße dagegen rechtlich nicht sanktioniert werden können. Demgegenüber stellen die jüngsten Beschlüsse unter dem Londoner Protokoll nach ihrem Inkrafttreten die ersten völkerrechtlich verbindlichen Normen im CE-Kontext dar, allerdings behandeln sie (bisher) einzig Aktivitäten im Bereich der Ozeandüngung und sind lediglich für die derzeit 44 Mitgliedstaaten des Londoner Protokolls rechtsverbindlich.



### EUROPÄISCHE EBENE

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass die EU bislang keine Rechtsakte erlassen hat, die CE-Aktivitäten der Mitgliedstaaten z. B. einem Verbot unterwerfen würden. Dies stellt eine klare Regelungslücke dar, die größtenteils darauf zurückzuführen ist, dass CE-Technologien vergleichsweise neu sind und ein Regelungsgegenstand somit bisher nicht existierte. Im Hinblick auf globale CE-Technologien ist die vordringliche Frage, wie seitens der EU-Mitgliedstaaten eine Erarbeitung übergreifender Kriterien zu Climate Engineering erreicht werden kann. Auch kleinskalige Maßnahmen z. B. im Kontext der lokalen CDR-Technologien werden nicht von EU-Regelungen adressiert. Die kompetenzrechtlichen Voraussetzungen für eine Regelung von CE-Aktivitäten auf EU-Ebene wären allerdings vorhanden. So soll etwa die EU-Umweltpolitik der »Förderung von Maßnahmen auf internationaler Ebene zur Bewältigung regionaler oder globaler Umweltprobleme und insbesondere zur Bekämpfung des Klimawandels« dienen. Insofern kann durchaus von der Möglichkeit entsprechender Koordinierungsmaßnahmen und rechtlicher Regulierungsnotwendigkeiten auf europäischer Ebene ausgegangen werden. Auch bietet in diesem Zusammenhang das vorhandene Unionsrecht verschiedene Anknüpfungspunkte für eine Regulierung von CE-Aktivitäten auf EU-Ebene. Bezugspunkt ist insbesondere das auf europäischer Ebene etablierte Instrumentarium zur Einhaltung hoher Schutzstandards z. B. im Umweltrecht.

### NATIONALE EBENE

Auch im bestehenden nationalen Regelungsgefüge existieren keine spezifischen rechtlichen Regelungen zu möglichen CE-Forschungen und -Maßnahmen. Von Relevanz sind insbesondere CE-Aktivitäten *ohne* grenzüberschreitende Nebenwirkungen, denn von diesen lassen sich ganz offensichtlich die meisten gegebenenfalls auch als eigenständige (nationale) Klimaschutzmaßnahmen durchführen. Mit Blick auf die bisher konkret diskutierten CE-Technologien ist in diesem Kontext an die Errichtung von Anlagen zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus der Luft, die Bioenergieerzeugung mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung, die Herstellung und Bodenapplikation von Biokohle, großflächige nationale Aufforstungsprojekte sowie an nationale Aktivitäten zur Modifikation der Erdoberflächenalbedo zu denken. Eine Regelung dieser Aktivitäten könnte vergleichsweise einfach dadurch herbeigeführt werden, dass entsprechende Aktivitäten in die Anhänge einschlägiger Gesetze oder Verordnungen aufgenommen werden.

---

### REGULIERUNGSOPTIONEN

Prinzipiell steht ein weites Feld an Optionen offen, wie eine Regelung für Climate Engineering ausgestaltet werden könnte. Das Spektrum an Möglichkeiten reicht von nationalen gesetzgeberischen Maßnahmen, die bestimmte CE-Aktivi-

täten auf der nationalen Ebene erfassen, bis hin zur Arbeit in internationalen Foren und Institutionen, im Rahmen derer Deutschland seine Position und Interessen einbringen könnte, um einen internationalen Regulierungsrahmen für CE-Aktivitäten zu bewirken und mitzugestalten.

### **FORSCHUNGSREGULIERUNG**

Eine berechtigte Frage lautet, ob eine weiter gehende internationale Regulierung einer CE-Forschung bereits notwendig erscheint bzw. angesichts großer Wissenslücken überhaupt der Sache dienlich wäre. Immerhin könnten nationale Gesetze und die Selbstverantwortung der Wissenschaft möglicherweise ausreichen, um eine verantwortungsvolle CE-Forschung (einschließlich der Durchführung von kleinskaligen Feldversuchen) sicherzustellen sowie die wissenschaftlichen Grundlagen für eine spätere politische und rechtliche Bewertung sowie effektive Regulierung auf internationaler Ebene zu erarbeiten. Für eine frühzeitige internationale Regulierung der CE-Forschung sprechen jedoch mehrere Gründe:

Es liegt in der Natur der meisten, zumindest aus einer technisch-apparativen Perspektive vergleichsweise einfach durchführbaren globalen CE-Technologien, dass entsprechende Feldversuche mit einem geringen Mehraufwand auf immer größere Skalen ausdehnbar wären. Insofern könnten Feldversuche schnell eine Größenordnung erreichen, bei welcher problematische Umweltwirkungen oder politische Spannungen und Konflikte nicht mehr auszuschließen wären. Darüber hinaus ist eine Regulierungsstruktur für die CE-Forschung auch zum Zweck einer internationalen Forschungscoordination sinnvoll und kann dazu beitragen, dass nur unbedingt notwendige und risikoarme Feldversuche ausgeführt sowie unnötige Wiederholungen und Dopplungen vermieden werden.

Die CE-Forschung kann auch mit relevanten gesellschaftlichen und politischen Implikationen verbunden sein. So können frühzeitige Regulierungsanstrengungen insbesondere durch die Thesen motiviert werden, die CE-Forschung führe zur Vernachlässigung der Emissionsreduktion oder durch Verselbstständigungsprozesse zu einer unerwünschten Anwendung der Technologien. Obschon es diesbezüglich bislang keine stichhaltigen empirischen Evidenzen gibt, dürfte es sich als schwierig oder unmöglich erweisen, diese Effekte – wenn sie denn eintreten würden – durch eine erst spät einsetzende Regulierung noch aufzufangen. Eine frühzeitige internationale Regulierung ermöglichte zudem prinzipiell eine transparente und offene Erforschung dieses Technologiefelds, wodurch die Akzeptanz der Öffentlichkeit für entsprechende Aktivitäten gesteigert würde.

### **LOKALE CE-AKTIVITÄTEN – REGELUNG AUF NATIONALER UND EU-EBENE**

Auch in Bezug auf Regulierungsnotwendigkeiten und -möglichkeiten bei der Entwicklung oder einem möglichen Einsatz erweist sich die Unterscheidung zwischen lokalen und globalen CE-Technologien als zweckmäßig.



## ZUSAMMENFASSUNG

In Bezug auf die lokalen CDR-Technologien, die ohne grenzüberschreitende Wirkungen und auch im Rahmen nationaler Klimaschutzstrategien durchführbar wären, bietet sich eine Regulierung auf nationaler bzw. europäischer Ebene an. Hier ergeben sich ähnliche Fragestellungen und Anforderungen, wie sie auch aus anderen Bereichen der Technologie- und Infrastrukturentwicklung bekannt sind, u. a. Umweltprüfungen zur Vorbeugung von Umweltschäden, Genehmigungsfragen, Vermeidung von Ressourcen- und/oder Landnutzungskonflikten insbesondere im Zusammenhang mit biomassebasierten CDR-Maßnahmen oder die Behandlung von Sicherheits- und Akzeptanzfragen beispielsweise im Kontext des Transports und der Lagerung von CO<sub>2</sub>. In Abhängigkeit von der weiteren Entwicklung lokaler CDR-Technologien wäre gegebenenfalls eine Anpassung bestehender einschlägiger Gesetze angezeigt, die vielfach durch Aufnahme der entsprechenden Maßnahmen in die Anhänge der Gesetze möglich wäre.

Sollte sich im Zuge der weiteren Entwicklungen herausstellen, dass im Rahmen ambitionierter Klimaschutzpolitiken die Anwendung lokaler CDR-Technologien sinnvoll ist, wäre zu prüfen, ob die Entwicklung und Umsetzung dieser Technologien durch private Akteure mit der Schaffung einer gezielten Förderpolitik und/oder marktbasierter Anreizmechanismen unterstützt werden könnte. Letzteres ließe sich vergleichsweise einfach dadurch erreichen, dass entsprechende Projekte in den regulierten Handel mit CO<sub>2</sub>-Zertifikaten integriert würden. Um Fehlsteuerungen rein marktbasierter Mechanismen etwa mit Blick auf potenzielle Nutzungs- und Zielkonflikte um knappe Ressourcen frühzeitig vorzubeugen, sollten diese von entsprechenden ordnungspolitischen Rahmenbedingungen und Steuerungsinstrumenten flankiert werden (z. B. konkrete Ausbauziele, Begrenzungen u. v. a. m.).

### Globale CE-Aktivitäten – Völkerrechtliche Regulierung

Die grenzüberschreitenden Wirkungen der globalen CE-Technologien bedingen es, dass hierzu durchgeführte größere Feldversuche oder gegebenenfalls konkrete Anwendungen außerhalb Deutschlands unter Umständen mit weiträumigen negativen Umweltfolgen verbunden sein würden, die auch hierzulande wahrnehmbar wären oder staatsfreie Räume betreffen, an denen Deutschland ein (z. B. ökonomisches oder forschungsrelevantes) Interesse hat. Ein aus deutscher Perspektive unerwünschtes, nicht international abgestimmtes uni- oder minilaterales Vorgehen anderer Länder oder Aktivitäten privater ausländischer Akteure lassen sich nur durch eine völkerrechtliche Regulierung unter Einbezug möglichst aller Staaten vermeiden.

Voraussetzung für eine Mitgestaltung eines völkerrechtlichen Regulierungsrahmens für globale CE-Technologien ist die politische Willensbildung über das zu erreichende Regulierungsziel und die Abstimmung einer deutschen Verhandlungsposition durch die Bundesregierung, die über formelle und informelle Kanäle auf



internationaler Ebene eingebracht und vertreten werden kann. Europarechtliche Gründe könnten es erforderlich machen, dass Deutschland seine Position mit den anderen Mitgliedstaaten koordiniert und diese als gemeinsame europäische Position einbringt, da bisher nicht abschließend geklärt wurde, ob die EU-Klimapolitik ein unilaterales Vorgehen oder ein gemeinsames Vorgehen mehrerer EU-Mitgliedsländer ausschließt.

Wie eine umfassende und effektive Regulierungsstruktur für die Erforschung und gegebenenfalls Anwendung von globalen CE-Technologien insbesondere im Kontext der RM-Technologien konkret ausgestaltet werden könnte, ist zurzeit jedoch noch weitgehend unklar.

### REGULIERUNG IN BESTEHENDEN REGIMEN

Im vorliegenden Bericht wird eine ganze Reihe inhaltlicher und struktureller Anforderungen an eine mögliche Regulierung von Climate Engineering (Effizienz, Legitimität, Flexibilität, Rechtsverbindlichkeit, Kohärenz, Anschlussfähigkeit etc.) identifiziert, die je nach gewähltem Regulierungsziel unterschiedlich stark zu gewichten sind und sich zum Teil gegenseitig ausschließen. Eine zentrale Aufgabe für die weitere Gestaltung einer CE-Regulierung wäre daher, in Abhängigkeit des Regelungsziels eine Abwägung zwischen den verschiedenen Anforderungen zu treffen und darauf aufbauend zu prüfen, ob bzw. welche der bestehenden Regime (z. B. CBD, UNFCCC) durch eine Modifikation am besten den jeweils priorisierten Anforderungen gerecht werden könnte.

Unter der *Biodiversitätskonvention* (CBD) hat die Arbeit an einer CE-Regulierung bereits begonnen, sodass hier das Thema politisch und institutionell bis auf Weiteres primär verortet ist. Deutschland muss sich in jedem Fall überlegen, ob und inwieweit es seine Interessen im Rahmen der weiteren Arbeit unter der Biodiversitätskonvention verfolgen will. Ein weiteres Vorgehen unter der Biodiversitätskonvention könnte – da hier auf bereits geleistete Arbeit aufgebaut werden kann – eine sachdienliche Option darstellen, v. a. falls eine weiter gehende CE-Regulierung als dringlich eingestuft wird. Hier böte es sich etwa an, die für CE-Aktivitäten im Bereich der Ozeandüngung erarbeiteten Regelungsansätze unter den Londoner Abkommen auch auf andere CE-Technologien auszuweiten und diese unter der Biodiversitätskonvention zu verankern, die im Gegensatz zu den Londoner Abkommen über beinahe universelle Geltung verfügt (allerdings sind z. B. die USA kein Vertragsstaat der Biodiversitätskonvention).

Sowohl thematisch als auch aufgrund ihres politischen Stellenwerts böte sich eine CE-Regulierung unter der *UN-Klimarahmenkonvention* (UNFCCC) an. Auch wäre es nicht überraschend, wenn Climate Engineering perspektivisch ohnehin zu einem Thema der Klimaverhandlungen wird. Es scheint daher dringend notwendig, eine Debatte darüber anzustoßen, ob bzw. unter welchen Bedingungen eine CE-Regulierung unter der UNFCCC erwünscht bzw. sinnvoll wäre. Es



## ZUSAMMENFASSUNG

sprächen mehrere Gründe dafür, das Thema unter dem internationalen Klimaregime zu behandeln, u. a. die notwendigen Erfahrungen, Ressourcen und die Legitimität dazugehöriger Institutionen sowie die Möglichkeit für eine integrierte Herangehensweise in Bezug auf CE-Maßnahmen, Reduktions- und Anpassungsstrategien. Allerdings könnte dies eine weitere Komplexitätsebene in die ohnehin bereits äußerst komplizierten Klimaverhandlungen einbringen und dadurch die internationale Klimapolitik möglicherweise auch gefährden.

### NEUES SPEZIFISCHES REGELWERK

Eine Handlungsalternative würde schließlich darin bestehen, ein *neues CE-spezifisches völkerrechtliches Regime* anzustreben, das passgenau auf die Anforderungen zugeschnitten werden könnte. Dies scheint unter der Maßgabe, dass Forschungsaktivitäten zu Climate Engineering in Form von (größeren) Feldversuchen einer zeitnahen Regulierung bedürfen, zumindest in der kurzfristigen Perspektive nicht die empfehlenswerteste Option zu sein. Die Verhandlungsdauer für ein neues Abkommen kann erfahrungsgemäß viele Jahre betragen und müsste zusätzlich von einer darin zu bestimmenden Anzahl von Staaten ratifiziert werden. Auch wäre es zurzeit weitgehend unklar, welche Staaten an den Verhandlungen teilnehmen und ein entsprechendes Abkommen ratifizieren würden, da sich – abgesehen von der Arbeit unter der Biodiversitätskonvention – bisher nur wenige Staaten politisch zum Thema Climate Engineering positioniert haben. Ein eigenständiges CE-spezifisches Abkommen scheint daher gegebenenfalls eher in Bezug auf die Regulierung eines potenziellen Einsatzes dieser Technologien eine mittelfristig sinnvolle Option zu sein. In diesem Zusammenhang kommt für Deutschland in Betracht, zu gegebener Zeit auf diplomatischer Ebene bilateral vorzufühlen, wie andere Staaten den Bedarf an einem eigenständigen CE-Abkommen einschätzen.

### POLITISCHES GEWICHT DEUTSCHLANDS UND DER EU

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass Deutschland (eventuell über die Einbindung in die entsprechenden EU-Gremien) durch sein politisches Gewicht, aber auch im Hinblick auf seine Vorreiterrolle beim Klimaschutz international eine wichtige Funktion bei der Ausarbeitung eines Regulierungsrahmens für Climate Engineering einnehmen könnte. Wenn sich in Zukunft die Hinweise verdichten sollten, dass das Thema stark an Bedeutung zunimmt und es in einigen Staaten unter Umständen zu einem klimapolitischen Paradigmenwechsel zugunsten eines stärkeren Engagements für die Entwicklung und ggf. Anwendung spezifischer CE-Technologien kommen sollte, könnte Deutschland eine entscheidende Stimme für einen sehr sorgfältigen Umgang mit diesen Technologien sein.





BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG  
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG

KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (KIT)

Neue Schönhauser Straße 10  
10178 Berlin

Fon +49 30 28491-0  
Fax +49 30 28491-119

[buero@tab-beim-bundestag.de](mailto:buero@tab-beim-bundestag.de)  
[www.tab-beim-bundestag.de](http://www.tab-beim-bundestag.de)