



HEINRICH BÖLL STIFTUNG
ÖKOLOGIE

BAND 25

Geo-Engineering

Gibt es wirklich einen Plan(et)en B?

Von **Georg P. Kössler**



**HEINRICH BÖLL STIFTUNG
SCHRIFTEN ZUR ÖKOLOGIE
BAND 25**

Geo-Engineering

Gibt es wirklich einen Plan(et)en B?

Von Georg P. Kössler

Im Auftrag und herausgegeben von der Heinrich-Böll-Stiftung

Der Autor

Georg P. Kössler ist Klimaaktivist und war bis Anfang 2012 Referent für Internationale Klimapolitik der Heinrich-Böll-Stiftung. Er ist Sprecher der Bundesarbeitsgemeinschaft Energie von Bündnis '90/Die Grünen und war zuvor u.a. Politischer Geschäftsführer des Bundesverbandes der Grünen Jugend. Vor dem Studium der Politikwissenschaften in Berlin, Schweden und Erlangen wuchs er in Berlin auf. Er bloggt auf www.klima-der-gerechtigkeit.de und auf gygeorg.wordpress.com.



Diese Publikation wird unter den Bedingungen einer Creative-Commons-Lizenz veröffentlicht:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/> Eine elektronische Fassung kann heruntergeladen werden. Sie dürfen das Werk vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen. Es gelten folgende Bedingungen: Namensnennung: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen (wodurch aber nicht der Eindruck entstehen darf, Sie oder die Nutzung des Werkes durch Sie würden entlohnt). Keine kommerzielle Nutzung: Dieses Werk darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden. Keine Bearbeitung: Dieses Werk darf nicht bearbeitet oder in anderer Weise verändert werden.

Geo-Engineering

Gibt es wirklich einen Plan(et)en B?

Von Georg P. Kössler

Band 25 der Schriftenreihe Ökologie

Im Auftrag und herausgegeben von der Heinrich-Böll-Stiftung 2012

Gestaltung: feinkost Designnetzwerk, Constantin Mawrodiw (nach Entwürfen von blotto Design)

Titel-Photo: © Tryfonov - Fotolia.com

Druck: Lokay Druck, Reinheim

ISBN 978-3-86928-084-4

Bestelladresse: Heinrich-Böll-Stiftung, Schumannstr. 8, 10117 Berlin

T +49 30 28534-0 **F** +49 30 28534-109 **E** buchversand@boell.de **W** www.boell.de



Vorwort	6
1 Einleitung	9
2 Die Wettermacher	11
2.1 Solar Radiation Management (SRM)	14
Die Spiegel-Theorie	14
Die Vulkan-Theorie	15
Die Albedo-Theorie	18
Die Wolken-Theorie	19
2.2 Carbon Dioxide Reduction (CDR)	20
Die Air-Capture-Theorie	20
Die Bio-Theorie	24
Die Ozean-Theorie	27
3 Die Eckpfeiler der Debatte	29
Was dafür spricht...	30
...und was dagegen	31
Vom Glauben an die Technologie	31
4 Wer profitiert?	37
Das Primat des Marktes	37
Militärischer Einfluss	40
Die Popstars des Geo-Engineering	40
Alte Bekannte	41
5 Wie frei kann freie Wissenschaft sein?	43
6 Eine Frage der Ethik?	49
7 Fazit	52
Glossar	57
Literatur	58

VORWORT

Die Heinrich-Böll-Stiftung begleitet und initiiert Debatten und politische Konzepte, die sich mit unserer Zukunft in Zeiten des Klimawandels befassen. Dabei ist es der Stiftung wichtig, Wirkungszusammenhänge genau zu analysieren, damit beurteilt werden kann, wann und wie Eingriffe Kreativität anregen, kritisches Denken fördern und Politik verändern kann.

Über das Thema «Geo-Engineering» gibt es kaum eine öffentliche Diskussion in Deutschland. Die deutsche Zivilgesellschaft wurde vom Thema «Geo-Engineering», also der Frage der technischen Manipulation des Klimasystems der Erde, auf dem falschen Fuß erwischt. Das mag auf der einen Seite an der allgemeinen und anhaltenden «Schockstarre» wegen der stagnierenden internationalen Klimadiplomatie liegen, auf der anderen Seite an einem viel zu wenig hinterfragten Glauben an die Wirksamkeit technischer Lösungen.

Politik und Gesellschaft können aber erst debattieren, urteilen und entscheiden, wenn sie informiert sind, wenn sie die Technologien und erst recht die Alternativen dazu kennen. Bislang haben nur wenige Medien – und das meist sensationshungrig – die Ideen des «Strahlungsmanagements» oder der CO₂-Abscheidung aus der Atmosphäre aufgegriffen. Eine kritische und breite gesellschaftspolitische Debatte kann das nicht ersetzen. Hier sind Nichtregierungsorganisationen und Umweltverbände ebenso gefragt wie die politischen Parteien und ihre Stiftungen. Wir als grüne Stiftung wollen mit dieser Publikation informieren. Denn wir brauchen die Auseinandersetzung mit den Risiken der vorgesehenen Technologien und den betreffenden ethischen Fragen.

Bislang gibt es weder multilaterale Absprachen noch die nötige Transparenz über laufende und geplante Experimente des Geo-Engineering. Ein Moratorium ist insofern das Mindeste, was es zu fordern gilt. Die Folgen des Einsatzes der entsprechenden Technologien sind weder erforscht noch gesellschaftlich diskutiert. Und wer profitiert eigentlich von Geo-Engineering, und wer und was bleiben dabei auf der Strecke?

Als Stiftung haben wir uns immer wieder dafür ausgesprochen, die technischen wie auch die gesellschaftlichen Aspekte von Innovationen zu diskutieren. Hightech-Lösungen versuchen meist, grundlegende Entscheidungen zu unseren Lebensstilen, zu unseren Produktions-, Distributions- und Konsumptionsmustern obsolet zu machen. Wir glauben jedoch, dass wir uns diesen Entscheidungen aktiv stellen müssen.

Die Heinrich-Böll-Stiftung will mit dieser Publikation die wichtigsten Technologien verständlich vorstellen, den sich derzeit formenden Diskurs kritisch hinterfragen und mit der (Un)Möglichkeit eines «Plan B» auch weiter Druck aufbauen auf

die momentan leider viel zu sehr im technischen Klein-Klein gefangene multilaterale Klimadebatte. Mit einigen abschließenden Leitgedanken und offenen Fragen wollen wir dabei denjenigen eine Orientierung geben, die wie wir mit der Frage ringen, ob das Geo-Engineering ein «Austreiben der Pest mit der Cholera» ist oder vielleicht doch die letzte Chance auf ein Überleben mit dem Klimawandel.

Wir brauchen so oder so dringend umfassende, ambitionierte und verbindliche Reduktionsziele – und das nicht erst 2020. Wir mahnen eindringlich zum Dialog, denn ein «Too big to fail» können wir uns im Klimasystem nicht leisten. Dafür steht zu viel auf dem Spiel.

Berlin, im Juni 2012

Barbara Unmüßig
*Vorstand der
Heinrich-Böll-Stiftung*

Lili Fuhr
*Referentin für
Internationale Umweltpolitik*

«Probleme kann man niemals mit derselben Denkweise lösen, durch die sie entstanden sind.»

Albert Einstein

1 Einleitung

Der vom Menschen verursachte Klimawandel ist wissenschaftliche Tatsache und manifestiert sich mehr denn je als kaum noch abwendbare Bedrohung. Doch die großen Treibhausgasemittenten hoffen noch, dass neue Technologien die ansonsten erforderlichen radikalen Einschnitte in Wirtschafts- und Lebensstile ersetzen können. Das auf Technologie gerichtete Fortschrittsparadigma ist fester Bestandteil unserer westlichen Glaubenslehre und brachte sowohl die Atombombe als auch Windkraftanlagen hervor. Dabei kulminiert es in einer Idee, die «nichts Gemäßigtes, nichts im menschlichen Maßstab» ist, so der Autor Jeff Goodell (2010: 25)¹. Die neue Lösung des Klimaproblems heißt «Geo-Engineering».

Schon lange bevor zahlreiche Kolumnen hierzu geschrieben wurden, wuchs diese Theorie der Manipulation klimarelevanter Erdsysteme aus der wissenschaftlichen Nische heraus. Nachdem 2009 die renommierte britische Royal Society ein Gutachten hierzu angefertigt hatte, wurde selbiges auch von der US-Regierung und zuletzt durch das BMBF² in Deutschland getan, womit die Debatte auch in Deutschland in die breitere Öffentlichkeit gelangte. Für eine ehrliche Debatte bedarf es aber einer Zivilgesellschaft, die sich über die Technik, Risiken, Annahmen und subtilen Konfliktlinien bewusst wird. Erst dann kann sie sich in Entscheidungsprozesse einmischen, in denen die Politik sich an eine Antwort auf diese unheimliche Versuchung wagt.

So scheint es verlockend, einen künstlichen Sonnenschirm über der Erde aufzuspannen. Doch sind die Reaktionen in der Atmosphäre und die Auswirkungen einer veränderten Sonneneinstrahlung auf die Lebewesen noch nicht gänzlich erforscht. Auch die biochemische Veränderung der Meere, damit diese noch mehr von unserem überschüssigen CO₂ aufnehmen, schafft neue Risiken. Neben den preiswerten und riskanten Technologien stehen solche, denen ein geringeres Gefahrenpotenzial nachgesagt wird (z.B. CO₂-Abscheidung aus der Luft), aber gigantische Mengen an Geld und Ressourcen verschlingen würden. Gemein haben sie, dass die Ursache des Klimaproblems – unsere CO₂-intensiven Produktionsmodelle und Lebensstile – unberührt bleibt.

Dem vorschnellen Einsatz von Geo-Engineering wurde daher von Seiten der UN-Biodiversitätskonvention (CBD) bereits 2010 ein De-facto-Moratorium als Riegel vorgeschoben. Mit Spannung wird daher erwartet, was beispielsweise die Rio-Konferenz im Juni 2012 hierzu beschließen könnte. Doch während die CBD keine Durch-

-
- 1 Alle aus dem Englischen übernommenen Zitate sind vom Autor übersetzt worden. Dieser übernimmt die alleinige Verantwortung für dabei entstehende Unklarheiten..
 - 2 Abkürzungen und Fachbegriffe werden im Glossar (Anhang 1) erklärt.

setzungskraft hat (und die USA nicht einmal Mitglied sind), kann es in Rio höchstens politische Absichtserklärungen geben. Außerdem schweigt die Klimarahmenkonvention UNFCCC, solange der Weltklimarat sich nicht zum Thema äußert.

Dabei ist es wichtig, das Thema Geo-Engineering von Beginn an im Rahmen der internationalen Klimapolitik zu diskutieren. Nur dort wird der grundsätzliche Gegensatz zwischen riskantem Geo-Engineering und dem wackeligen Pfad einer großen Transformation der Gesellschaft und der Wirtschaft sichtbar. Trotz vorherrschender Skepsis ist es unabdingbar, Geo-Engineering von der Forschung bis zu einem theoretischen Einsatz komplett multilateral, transparent und mit demokratischer Kontrolle zu organisieren. Zudem müssen lediglich an Profit interessierte Akteure ausgeschlossen und unabhängige Technologieüberprüfungen standardisiert werden. Der erste Schritt in eine ehrliche Debatte über das Für- und Wider von Geo-Engineering wäre folglich ein Moratorium für diese Klimamodifikationen, bis alle o.g. Voraussetzungen geschaffen sind.

2 Die Wettermacher

Streng genommen gibt es schon lange ein Geo-Engineering des Planeten: die Abholzung der Regenwälder, die Versauerung der Ozeane, das Artensterben oder die Verpestung der Atmosphäre mit Gasen wie CO₂ sind alles anschauliche Beispiele der Veränderung des Planeten. Doch geschahen sie unbeabsichtigt – zumindest zu Beginn. Die Definition von Geo-Engineering ist nicht eindeutig geklärt,³ genauso wie der Name an sich noch Gegenstand von Debatten ist.⁴ Im Folgenden gilt diese Definition: Geo-Engineering ist die bewusste, großtechnische Veränderung der Erdsysteme, um dem anthropogenen Klimawandel zu begegnen (ähnlich: ETC Group 2011; Romm 2009a; CBD 2012).⁵

Auch Ideen einer künstlichen Klimagestaltung sind nicht neu. «Alle dachten [damals], sie wären verrückt. Wir ließen es sein. Jetzt kommen sie zurück», meint Pat Mooney (2010), einer der prominentesten Kritiker in Bezug auf das, was U.S. Präsident Lyndon B. Johnson 1965 erstmals in einem Bericht seines Technologiekomitee las: «die Möglichkeit, absichtliche ausgleichende klimatische Veränderungen hervorzurufen», sei möglich und könne zur Vermeidung schwerer Wirbelstürme vor der Küste genutzt werden (ETC Group 2011). Schon zehn Jahre zuvor warnte der US-Raketenforscher John von Neumann vor Interventionen in das Klimasystem, da sie gefährlicher seien als ein Atomkrieg.⁶ In der Hochzeit des Kalten Krieges wurden dennoch

3 Die Aufforstung von Wäldern oder die in Deutschland als CCS (Carbon Capture and Storage) bekannt gewordene Technik gehören für einige in die CDR-Kategorie. Jedoch treten beide Strategien (noch) nicht als «großflächige, intentionale Erdmanipulationen» auf. Dennoch ist der Übergang schwammig.

4 So verwendet das Kiel Institute in seiner großen Studie für das BMBF den Begriff «climate engineering» (in der dt. wie der engl. Version), um sich von rein geologischen Veränderungen des Planeten abzugrenzen (s. BMBF 2011). Andere, wie das US-amerikanische Bipartisan Center (2011) sprechen von «climate remediation» (Klimasanierung) oder von «Klimaintervention». Der vom Autor hier gewählte Begriff «Geo-Engineering» ist jedoch schon über zwei Dekaden in Benutzung und scheint unverdächtig, als irreführend zu gelten.

5 Das BMBF (2011) definiert es wie folgt: «Climate Engineering umfasst sowohl Technologien zur ursächlichen Rückführung als auch Technologien zur symptomatischen Kompensation des anthropogenen Klimawandels». Die CBD (2012) diskutiert derzeit folgende Definition (Stand April 2012): «Climate-related Geoengineering: a deliberate intervention in the planetary environment of a nature and scale intended to counteract anthropogenic climate change and/or its impacts through, inter alia, solar radiation management or removing greenhouse gases from the atmosphere.»

6 «Intervention in atmospheric and climatic matters [...] will unfold on a scale difficult to imagine at present. [...] this will merge each nation's affairs with those of every other, more thoroughly than the threat of a nuclear or any other war would have done» (von Neumann 1955: 41)..

Maßnahmen des Geo-Engineering für militärische Zwecke genutzt. Allerdings handelte es sich dabei eher um «Wetter-Manipulationen».⁷ Das unter dem Namen «Project Stormfury» bekanntgewordene Langzeitexperiment der USA weckte u.a. bei Fidel Castro Angst vor als Waffen eingesetzten Hurrikans. Auch China verwahrte sich 1976 gegen weitere amerikanischen Experimente, bei denen Silberjodid per Flugzeug in Stürme gesprüht wurden, um diese kollabieren zu lassen. Doch weder das noch die von Castro befürchtete Veränderung der Sturmrichtungen funktionierten.

Und auch im Ostblock war Geo-Engineering schon 1960 ein Thema, als Forscher vorschlugen, das Klima so zu verändern, dass mehr fruchtbares Land für Stalins Reich in Sibirien zur Verfügung stünde. Dabei sollte Asche auf das arktische Eis ausgebracht werden, um die Sonnenreflektion zu verringern (also das Gegenteil von dem, was heute angedacht wird, s.u.).⁸ Zuvor experimentierte Nazideutschland erfolglos mit künstlichem Nebel, um alliierte Bomber zu verwirren. Seit 1978 verbietet das UN-Umweltkriegsübereinkommen⁹ feindselige Wettermodifikationen. Laut ETC Group (2010) wäre demnach jede Geo-Engineering-Technik, die lokale Auswirkungen wie Dürren hervorruft, eine Vertragsverletzung, was die CBD (2012) kürzlich jedoch explizit verneinte. Doch bislang wurde niemals ein Experiment gestoppt. Dadurch, dass Geo-Engineering im internationalen Rechtsraum noch nicht definiert ist, scheint eine Kontrolle auch praktisch kaum möglich.

Der menschliche Traum, Regen oder Wetter zu machen, existiert schon ewig. Erst mit der modernen Technik konnte dies nachweisbar – wenn auch zeitlich und räumlich begrenzt – verwirklicht werden: China sprüht Chemikalien, um bei Großereignissen gutes Wetter zu haben, und die USA sorgen für mehr Schnee auf der trockenen Sierra Nevada.¹⁰ Und «vielleicht wird man eines Tages sagen, dass die Wetterkontrolle ein erster Schritt war auf dem Weg zur Klimakontrolle», so der Experte Ken Caldeira (Neon 2012).

-
- 7 Der US-Kongress unterstützte bereits 1958 direkt die Forschung zum Regenmachen. Das «Project Popeye» der CIA brachte es zwischen 1966-72 auf über 2.300 «Düngungen» über dem Ho-Chi-Minh-Pfad mit dem Ziel, diesen für die Truppen Nordkoreas unpassierbar zu machen und Ernteaussfälle herbeizuführen (ETC Group 2011).
 - 8 Zudem schlugen Rusin, Flit und Rottenberg in «Man versus Climate» vor, die Straße von Gibraltar zu schließen oder den Kongo umzuleiten (in: Goodell 2010).
 - 9 «UN Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques» (ENMOD).
 - 10 Während der Olympiade 2008 in Peking wurde Silberjodid gesprüht, um Wolken außerhalb der Stadt «abregnen» zu lassen. Länder wie Thailand versuchen durch so hervorgerufenen Regen dem Smog im Norden des Landes entgegenzuwirken.

Klima, SRM und CDR

Die Existenz von Treibhausgasen in Natur und Atmosphäre ist normal, schwankt allerdings über die Jahrtausende. Treibhausgase sind der Grund dafür, dass Wärme in der Atmosphäre «gefangen» gehalten werden kann. Doch der Mensch sorgte in der jüngeren Vergangenheit mit seinen Emissionen für einen relativ schnellen Anstieg der Konzentration an Treibhausgasen, und je höher zum Beispiel die CO₂-Konzentration, desto wärmer wird es im globalen Durchschnitt. Natürlich absorbiert der Planet über die Pflanzen und Gewässer auch wieder CO₂, doch der Mensch hat diesen wichtigen natürlichen Kreislauf aus dem Takt gebracht, indem er jahrtausendealte Kohlenstoffspeicher wie Kohle oder Gas aufbrach und durch Verbrennung mehr CO₂ in die Atmosphäre brachte, als von dieser durch natürliche Prozesse wieder aufgenommen werden kann. Selbst wenn wir das Klimagas direkt aus der Atmosphäre abscheiden könnten, so vermögen wir es doch nicht, es wieder z.B. zurück in die Kohle zu pressen, da es dafür langer biochemischer Prozesse bedürfte.

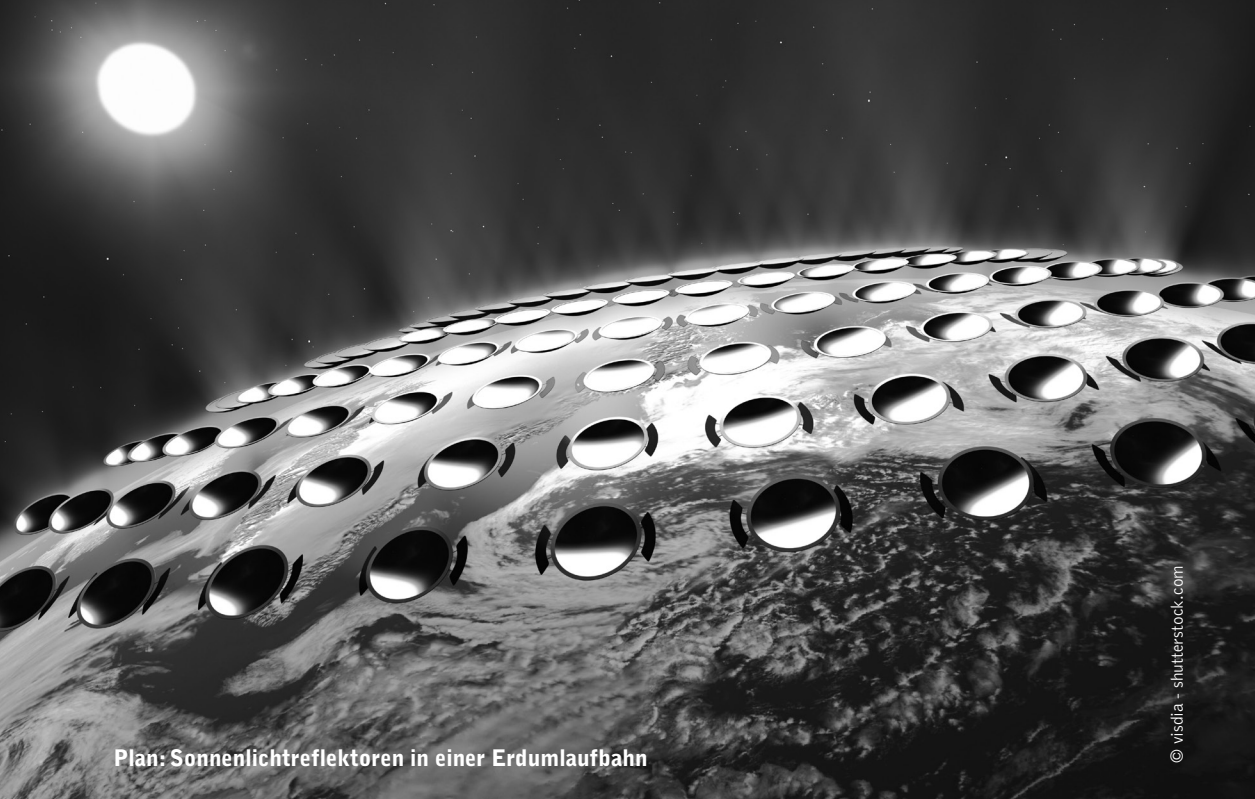
Geo-Engineering will nun an anderen Stellschrauben ansetzen, um das Klima wieder in Ordnung zu bringen. Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten, die von der Erdatmosphäre gespeicherte Wärme zu minimieren: einmal durch eine künstliche Verringerung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre (Carbon Dioxide Removal, kurz: CDR) oder indem die Wärme gar nicht erst in die Atmosphäre gelassen wird (Solar Radiation Management, kurz: SRM).

SRM wäre ein völlig neuer Hebel im Klimasystem, da bisher noch nie vom Menschen bewusst die Wärmemenge beeinflusst wurde, die in das Klimasystem gelangen kann. Das Sonnenlicht kommt als kurzwellige Wärmestrahlung, die z.B. nur zu einem geringen Teil von Wolken reflektiert wird, und trifft auf die Erde. Dadurch wird es wärmer. Gleichzeitig strahlt die Erde selbst langwellige Wärme ab, die in der Atmosphäre (z.B. durch CO₂) teilweise festgehalten wird. Die Menge der Sonneneinstrahlung, die vermieden werden müsste, um eine Verdopplung des CO₂ in der Atmosphäre¹¹ «auszugleichen», liegt bei geschätzten 2% (Royal Society 2009: 24).

Bei CDR geht es lediglich um ein Entziehen von bereits in der Atmosphäre befindlichem CO₂. Dabei soll dieses, vereinfacht ausgedrückt, entweder biochemisch, unter der Erde, in Pflanzen und Böden oder im Meer gestaut werden. Zwar stehen Meere und Atmosphäre in einem ständigen Austausch ihres CO₂-Gehalts, sie balancieren sich gewissermaßen aus; doch die tieferen Wasserschichten sind durch den sehr langsamen Austausch mit den oberen auch als CO₂-Speicher attraktiv.

CDR hat weniger Risiken und liegt näher an der Ursache des Problems, den CO₂-Emissionen; es wirkt nicht so schnell wie SRM-Techniken und ist meist teurer.

¹¹ Das vorindustrielle Niveau lag bei 280ppm CO₂; das derzeitige Level liegt bei rund 390ppm.



Plan: Sonnenlichtreflektoren in einer Erdumlaufbahn

2.1 Solar Radiation Management (SRM)

Die Spiegel-Theorie

Derzeit ist jedes Unterfangen außerhalb der irdischen Atmosphäre noch sehr teuer und sehr riskant. Dennoch klingt die Idee eines großen Sonnenspiegels vor der Erde verlockend, könnte doch so das Licht der Sonne teilweise reflektiert und ihre Wärme-einstrahlung begrenzt werden. Als weitere Optionen gäbe es die Installation von Ringen – ähnlich denen des Saturns – mittels 2 Mrd. Tonnen Staubpartikeln oder ein Geflecht aus reflektierenden Scheiben, Spiegeln oder Aluminiumfäden, die sich über ca. 3 Mio. km² erstrecken. All dies würde mit Raketen in den Orbit der Erde gebracht werden müssen.

Bedenken

Die Installation solcher Vorrichtungen ist nicht nur teuer und aufwendig, sondern würde die Menge an Weltraummüll weiter vergrößern. Zudem wäre in den angegebenen Fällen die Sonneneinstrahlung nur punktuell auf dem Planeten verringert, was unklare Konsequenzen z.B. für ozeanische oder atmosphärische Prozesse hätte. Diese hängen nämlich stark von der unterschiedlichen Sonneneinstrahlung an Äquator und den Polen ab (UBA 2011).

Die Vulkan-Theorie

Das Geo-Engineering mittels Sulfataerosolen¹² ist die derzeit am heißesten debatierte Variante, da sie sowohl preiswert als auch zeitlich nah umsetzbar erscheint. Bei diesem Verfahren wird die Schwefelkonzentration in der Atmosphäre gesteigert. Der Strahlungsantrieb ist in diesem Fall – im Gegensatz zum CO₂ – sehr viel geringer.¹³ Erste große Aufmerksamkeit in der Klimawissenschaft erlangte diese Methode durch eine kritische Gegenüberstellung von Paul Crutzen im Jahr 2006, als er den kontinuierlichen Anstieg der Luftreinheit in westlichen Ländern überraschend als Problem deklarierte.¹⁴ Die Abnahme der Sulfateilchen¹⁵ in der Atmosphäre führe zu einer geringeren Reflektion des Sonnenlichtes und somit zu mehr globaler Erwärmung, so Crutzen. Er fordert nun eine Art künstlichen Vulkanausbruch, denn als Beweis seiner Theorie wird allgemein der Ausbruch des Vulkans Pinatubo 1991 auf den Philippinen erachtet, der eine globalen Abkühlung¹⁶ herbeiführte. Da die Asche eines Vulkans über die Troposphäre hinaus in die Stratosphäre (ca. 10 bis 50 km über dem Boden) geschleudert wird, verweilen sie über Monate hinweg in der Luft und blockieren lange die Sonnenwärme. Das Ausbringen der Aerosole ist u.a. durch Flugzeuge, Militärartillerie, kilometerlange Schornsteine oder Ballons denkbar. Doch müsste ständig «nachgeladen» werden, denn alles, was hoch kommt, will irgendwann auch wieder runter. Zudem ist die Wirkung schwer zu steuern und extrem abhängig von z.B. der Verteilungsfläche. Ähnlich der Imitation von Vulkanen wäre auch das Ausbringen anderer Chemikalien oder reflektierender Gegenstände¹⁷ in die Atmosphäre denkbar. All diese Ideen gehören zu den Billigvarianten des Geo-Engineering und bezaubern zugleich durch schnelle und effektive Wirkung. Aerosol-Sprühung mit Sulfateilchen kann daher mit einem «Doping der Atmosphäre» (Lowell Wood in: Goodell 2010) verglichen werden und wäre technisch schon heute möglich (so Caldeira in: Neon 2012).

-
- 12** In verschiedenen Modellen wird ebenfalls von Schwefelaerosolen, Schwefelpartikeln oder Sulfateilchen gesprochen. In diesem Text geht es jedoch lediglich um die Technologie an sich und nicht die Begrifflichkeit, weswegen die Begriffe hier synonym verwendet werden.
- 13** Der Strahlungsantrieb (gemessen in Watt pro m²) ist die Wirkung von Klimagasen auf den Energiehaushalt der Erde. Ein negativer Strahlungsantrieb durch die Rückstrahlung kurzweiliger Sonnenstrahlung (Albedo) bedeutet, der Erde wird Energie entzogen, es kommt somit zu einer Abkühlung der Atmosphäre. Ein positiver Strahlungsantrieb (Reflektion langweiliger Strahlung, die die Atmosphäre nicht verlassen kann) führt folglich zu einer Erwärmung.
- 14** Crutzen spricht von einer Abnahme der Schwefelkonzentration in der Atmosphäre von 2,7 % pro Jahr und schlussfolgert eine Zunahme der Sonneneinstrahlung von 0,1 % zwischen 1983 und 2001. Er unterlässt den Verweis darauf, dass der rasante Zuwachs der Schwefelkonzentration seit 1850 (und insbesondere nach 1945) noch zu Dreiviertel besteht (siehe Stern 2006)..
- 15** Sulfate sind Salze oder Ester der Schwefelsäure (H₂SO₃); Schwefelwasserstoff oder Schwefeldioxid würden in der Stratosphäre zu Sulfatpartikeln oxidieren und so die Sonnenstrahlen streuen
- 16** Robock und Mao (1995) sprechen von 0,1 bis 0,2° Celsius im globalen Mittel (siehe UBA 2011: 14). Die Abkühlung hielt aber nicht länger als ein Jahr an.
- 17** David Keith (2009) schlägt hierfür Nanopartikel aus Aluminium, Aluminiumoxid oder Bismut-titanat vor.



© Marc van Vuren - shutterstock.com

Bedenken

Seit Jahren haben Forschungen die Auswirkungen von Vulkanen auf den Wasserhaushalt der Erde genauer untersucht und kamen zu dem Schluss, dass fast Dreiviertel der untersuchten Vulkanausbrüche unnormale trockene Jahre folgten.¹⁸ Gerade der Pinatubo sorgte für Verwerfungen im Wasserhaushalt der Erde durch eine Abschwächung des afrikanischen und asiatischen Monsuns, verringerten Niederschlägen und Bodenfeuchtigkeit sowie niedrigeren Flussständen in einigen Regionen (siehe Trenberth/Dai 2007, Robock 2008). Weitere Zusammenhänge, etwa zwischen atmosphärischen und ozeanischen Strömungsveränderungen, sowie eine Zunahme

¹⁸ Im Jahr 1982 hingegen kam es nach dem Ausbruch des El Chichón in Mexiko zum zweitfeuchtesten Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen.

an saurem Regen¹⁹ wurden ebenfalls bewiesen. Eine Studie der Universität Hong Kong (Yim 2011) hat dies kürzlich für Süd-China bestätigt. Die neue Supermacht wird sich folglich sehr genau überlegen müssen, wie sie sich zu Aerosol-Sprühungen positioniert. Als wäre das nicht genug, würden diese Aerosole auch die Ozonschicht angreifen und die Menschen der Gefahr erhöhter UV-Strahlungen aussetzen (Solomon 1999). Andere Nebenwirkungen: Die Farbe des Himmels würde sich ändern²⁰, und die Energiegewinnung aus der Photovoltaik wäre verringert.²¹ «Es gibt also immer auch Verlierer», so Caldeira. Auch die Gefahren durch eine für die Natur zu schnelle Abkühlung der Temperatur²² sind noch nicht adäquat erforscht. Geringe Kosten stellen auch eine Gefahr da, weil eine unilaterale Ausbringung von Sulfat-Aerosolen durch einen «Schurkenstaat» oder aktionistische, reiche Wohltäter verheerende Auswirkungen nach sich ziehen könnte.

Das SPICE-Experiment

Im Jahr 2011 wollten britische Wissenschaftler über einen ein Kilometer langen Schlauch, der an einem Ballon befestigt war, Wasser in die Atmosphäre sprühen. Die Erkenntnisse dieses ca. 2 Mio. Euro teuren Experiments sollten für eine mögliche Verteilung von Sulfatpartikeln nützlich sein.

Proteste von Anwohnern und Umweltgruppen haben zu einem Abbruch des Experiments geführt, das für sie keine Prüfung, sondern bereits konkretes Geo-Engineering war und von einem echten Klimaschutz ablenkt. Befürwortende Stimmen entgegneten, dass auch die Unmöglichkeit eines sicheren Geo-Engineering durch SPICE hätte gezeigt werden können. Unabhängig davon war es aber ein Projekt ohne Aufklärung und ohne Partizipation von Betroffenen sowie Kritikerinnen und Kritikern. Bis zuletzt war unklar, wann und wo es stattfinden würde. Noch in diesem Jahr soll es mit einem offeneren Verfahren neu gestartet werden.

- 19 Im Jahr 1977 verwies der russische Klimatologe M. Budyko mit Blick auf die derzeitige Luftverschmutzung auf den minimalen zusätzlichen Effekt von zusätzlichen Sulfateilchen. Robock (2008) verweist aber darauf, dass auch ein leichter Abfall des pH-Wertes (z.B. durch Sauren Regen) für einige Ökosysteme große Auswirkungen nach sich ziehen könnte. Goodell (2010: 131) schreibt: «Wenn das Hochschießen von Partikeln in die Stratosphäre nicht mit scharfen Emissionsminderungen kombiniert wird, retten wir das Klima, aber zerstören die Ozeane [durch Versauerung].»
- 20 Der Tageshimmel würde nicht mehr blau, sondern weiß erscheinen; dafür wären Sonnenuntergänge farbiger. Der prominente Endzeithimmel in Edvard Munchs Meisterwerk «Der Schrei» weist eindringlich darauf hin: Das Bild ist etwa zehn Jahre nach der Eruption des Krakatau im Jahr 1883 gemalt worden.
- 21 Robock (2000) beobachtete eine 25- bis 35-prozentige Verringerung der Sonneneinstrahlung nach den Ausbrüchen des El Chichón (1982) und des Pinatubo (1991).
- 22 So könnte selbst bei einem kontrollierten Experiment zeitgleich noch ein echter Vulkan ausbrechen.

Die Albedo-Theorie

Die Reflektion der Sonnenstrahlen durch die Erde wird Albedo²³ genannt und ist einer der zentralen Schutzmechanismen vor zu viel Erwärmung. Dabei reflektieren helle und glatte Flächen mehr als dunkle und unebene. Dieses «Rückstrahlvermögen» macht der Mensch sich zu Nutze, wenn er im Sommer helle Kleidung trägt. Die großen Eisflächen der Erde wirken auch deshalb als Kühlsysteme der Erde, weil sie viel weniger Wärme aufnehmen als z.B. Meerwasser oder ein steiniger Untergrund. Die Global Cool Cities Alliance ist überzeugt, dass eine Veränderung der Oberflächenstruktur von Dächern und Infrastruktur bis zu 44 Mrd. Tonnen CO₂ in der Atmosphäre einsparen kann. In Wirklichkeit würde zwar lediglich der Klimateffekt von bereits emittiertem CO₂ ausgeglichen, doch könnte so tatsächlich die globale Erwärmung abgeschwächt werden. Alternativ könnte man auch die Pflanzenwelt durch den Tausch von Sorten oder durch Gentechnik so verändern, dass deren Albedo höher wird. Eine anscheinend risikoarme Variante sind Reflektorenfelder in den Wüsten, sie würden «nur» diese Landstriche negativ beeinflussen. Konsequenterweise wollen andere Konzepte diese Art der Eingriffe in den Strahlungshaushalt auch auf die Wasseroberflächen ausdehnen: Es gibt Ideen, mittels schwimmender Reflektoren (z.B. weißer Luftpolster) die globale Erwärmung bremsen zu können.

Bedenken

Angesichts der hohen Kosten ist der maximale Effekt relativ gering,²⁴ und die Anstriche (z.B. Lacke, Farben) verursachen selbst ebenfalls noch Verschmutzung. Analoge Ideen sind ebenfalls sehr aufwendig: Immerhin wären bei der «Pflanzenvariante» der Albedo-Theorie rund ein Drittel der Landoberfläche betroffen. Hinzu kommen enorm hohe Kosten, und die negativen Folgen für Menschen, Biodiversität und lokale Ökonomien dürften immens sein. Auch eine lediglich auf Wüsten beschränkte Albedo-Politik führt zu unvorhersehbaren Änderungen der regionalen Wettermuster. Die gleiche Vorsicht muss auf die Meere ausgedehnt werden, wo es Lebewesen gibt, für die eine Verdunkelung oder chemische Belastung verheerend wäre. Das Ziel, die ohnehin schon exorbitante Menge Mülls in unseren Meeren zu reduzieren, wäre dann hinfällig.

²³ Albedo kommt aus dem Lateinischen und bedeutet «Weißheit».

²⁴ Einige halten eine Verringerung des Strahlungsantriebs um bis zu $-0,2 \text{ W/m}^2$ – laut IPCC lag dieser global 2005 im Durchschnitt bei $1,5 \text{ W/m}^2$ – für möglich. Dem gegenüber stehen die Kosten für eine «Weißung» von nur 1% der Festlandoberfläche bei geschätzten rund 300 Mrd. Dollar (siehe UBA 2011: 13)..

Die Wolken-Theorie

Wesentlich effektiver wäre der Versuch, die Albedo der natürlichen Sonnenschirme, der Wolken, zu erhöhen.²⁵ Kleinere Wasserteilchen in den Wolken verändern die Oberflächengröße, wodurch mehr Licht gebrochen und reflektiert wird, was wiederum das Rückstrahlvermögen erhöht. Fachmänner wie Stephen Salter von der Universität Edinburgh würden lediglich sehr kleine Salzwassertropfen von Schiffen in die Luft sprühen. Dies würde die Wolken heller und reflektionsstärker machen. Zu Gute kommt dieser Methode auch, dass sie schnell zu stoppen ist.

Bedenken

Es bedarf aber noch einer Methode, Herstellung und Austragung der Partikel klimaneutral zu gestalten. Die Anrainer der als geeignet identifizierten Regionen, v.a. der Südatlantik²⁶, müssten sich wohl mit neuen Mustern von Niederschlag, Wind und Meeresströmungen auseinandersetzen. Zudem ist die Größe der Teilchen entscheidend: Die European Geoscience Union machte darauf aufmerksam, dass zu große Tropfen sogar zu einer schnelleren Erwärmung führen würden – denn auch Wolken sind komplex.

25 Prinzipiell leben Wolken länger, wenn sie mehr kleine Tropfen haben. «Lantham et al. 2008 schätzen, dass die Verdopplung der Wolkentröpfchen in den Wolken über den Ozeanen die Albedo soweit erhöhen würde, dass damit eine Verdopplung des atmosphärischen CO₂-Gehaltes gegenüber dem vorindustriellen Niveau kompensiert werden könnte» (UBA 2011: 14).

26 Nötig wäre es aber, wenn überhaupt, über den arktischen Eisflächen, um diese zu erhalten. Doch die dortigen Wolken sind ungeeigneter als z.B. die vor Kalifornien, Peru oder der Westküste Afrikas. Schon ein Einsatz vor Kalifornien würde Modellen zufolge aber negative Effekte auf das El-Niño-Phänomen und somit auch den Amazonas haben (s. Goodell 2010: 184f).

Tabelle 1: Schematische Darstellung der SRM-Vorschläge

Technik	Klima- wirkung	Kosten	Verfüg- barkeit**	Wirkung*	Neben- effekte	Umkehr- barkeit**
Reflektoren im Weltall	sehr hoch	sehr hoch	sehr gering	moderat	einige	moderat
Sulfat- aerosole	sehr hoch	sehr gering	moderat	schnell	viele	schnell
Wolken- aufhellung	moderat	gering	moderat	schnell	viele	schnell
Albedo- verstärkung	—	—	—	—	—	—
bei Infrastruktur	sehr gering	sehr hoch	moderat	langsam	wenige	moderat
von Wüsten	moderat	sehr hoch	moderat	sofort	sehr viele	moderat
von Pflanzen***	eher gering	moderat	moderat	langsam	einige	schnell

* Die Wirkung bezieht sich dabei lediglich auf die CO₂-bezogene Wirkung, nicht auf das Wettersystem.

** Die Indikatoren «Verfügbarkeit» und «Umkehrbarkeit» beachten sozio-ökonomische Gründe nicht.

*** Diese Einschätzung der CBD bleibt unkritisch gegenüber den Effekten der Gentechnik.

Diese Tabelle basiert z.T. auf den Daten im Reviewed Draft vom 23.1.2012 der CBD. Dieser ist weder beschlossen noch veröffentlicht.

Quelle: eigene Darstellung, z.T. nach CBD 2012

2.2 Carbon Dioxide Reduction (CDR)

Die Air-Capture-Theorie

Bei Carbon Capture and Storage (CCS) wird, anders als bei der biologischen Kohlenstofffilterung (z.B. durch die Photosynthese der Pflanzen, s.u.), das CO₂ chemisch aus dem Kraftwerksdampf abgeschieden und unterirdisch gelagert. In Deutschland gab es dazu im vergangenen Jahr eine große öffentliche Debatte, v.a. in Orten mit potenziellen Lagerstätten. Forscher wie David Keith aus Kanada versuchen nun, diese Technik direkt an der Umgebungsluft anzuwenden.²⁷ Mit dem «Air Capture» genannten Verfahren könnte die Konzentration von CO₂ in der Atmosphäre also eventuell wieder gesenkt und der Klimawandel theoretisch also rückgängig gemacht werden. Es könnte überall auf der Erde angewandt werden – nahe an den Speichern, nicht an Emissionsquellen. Bekannte Klimakämpfer wie Sir Richard Branson, Al Gore, James Lovelock, Tim Flannery und James Hansen lobten 2007 einen Preis in Höhe von 25 Millionen Dollar für denjenigen aus, der Air Capture in großem Maßstab wirtschaftlich macht. Bisher hat noch niemand den Preis beansprucht.

²⁷ Allerdings ist die CO₂-Dichte dort dreihundertfach geringer, und in Experimenten wurde bisher der CO₂-Gehalt lediglich von 340 ppm auf 335 pm verringert (s. Goodell 2010).

Bedenken

Die Royal Society schätzt, dass die erforderliche Industrie für diese Technik mindestens so groß wäre wie die für «die derzeitige fossile Energiegewinnung» (Goodell 2010: 29) und dass sie große lokale Umweltzerstörungen verursachen würde. Da es noch kein einziges Demonstrationsprojekt gibt, sind v.a. Umfang und Kosten schwer einzuschätzen, und die sichere Speicherung von CO₂ funktioniert bisher (wie bei herkömmlichem CCS) auch nur auf dem Papier. Das vermiedene CO₂ müsste dann auch mit der dafür mehr aufgewendeten Energie verrechnet werden.²⁸ Selbst wenn diese komplett von erneuerbaren Energien kommen würde, so stiege doch der Gesamtenergiebedarf erheblich. Natürlich könnte die Technik theoretisch nur immer dann angestellt werden, wenn lokal ein Überschuss an erneuerbaren Energien vorhanden ist (z.B. an windigen, sonnigen Tagen bei geringem Verbrauch). Ganz sicher gehört diese Technik aber zu den teuersten und energieintensivsten der bisher angedachten.

28 Socolow et al. (2011, in: BMBF 2011: 53) schätzen 1,8 GJ Elektrizität für die Aufnahme von einer Tonne CO₂, andere rechnen sogar mit noch mehr.

Plan: Kohlendioxid absorbieren





Die Bio-Theorie

Es gibt drei Arten von Konzepten des Geo-Engineering, die die Photosynthese nutzen möchten. Das erste Konzept geht einen Schritt weiter als die einfache Idee der Aufforstung: Es möchte eine Rückkehr des in den Pflanzen gespeicherten CO₂ in die Atmosphäre (z.B. durch Verrottung) dadurch verhindern, dass dieses Biomaterial luftdicht unter Wasser oder in der Erde verschlossen wird. Eine weitere Technik zielt auf die Umwandlung der Biomasse in «Biokohle» ab, welche dann ausgetragen auf Böden diese fruchtbarer machen kann.²⁹ Als Nebenprodukt entstünden zudem als Kraftstoffe nutzbare Öle und Gase. Der dritte Weg ist bescheidener und will die Verbrennung von nachwachsenden Rohstoffen, der Bio-Energie, mit CCS verbinden (daher auch «BECCS»). Dabei könnte sogar – wenn es geeignete Speicher gäbe – der existierende Kraftwerkspark umfunktioniert werden, indem einfach Kohle durch Biomasse ersetzt wird.

Bedenken

Ein Problem beim einfachen «Wegschließen» des biogen gespeicherten CO₂: Sie entzieht auch andere Nährstoffe dem Naturkreislauf. Die positive Wirkung der «Biokohle» ist ebenfalls noch nicht ganz untersucht, und es ist obendrein fraglich, ob es genug geeignete Biomasse gibt und ob diese nicht effektiver direkt verfeuert werden könnte.³⁰ Bei BECCS stellt sich obendrein die Frage, wo all das nachhaltig erwirtschaftete Material wie Holz herkommen soll, um global einen Beitrag im Kampf gegen den Klimawandel leisten zu können.³¹ Die hohen Träume vom «Zurückdrehen des Klimarades» bleiben leider auch deshalb Träume, weil es niemals ein Zurück zum Urzustand geben kann. Auch wenn Effekte abgeschwächt werden können, so würde der Entzug von CO₂ aus der Atmosphäre durch Biokohle z.B. wieder neue, unbekannte Effekte nach sich ziehen. Genau wie der Genuss eines Apfels den Ausschluss der ersten Menschen aus dem Garten Eden bewirkte, so hat der Mensch mit seinen zusätzlichen CO₂-Emissionen das eigene Spielfeld für immer verändert.

²⁹ Hierbei denkt man v.a. an die im Amazonas entdeckten «Terra Preta»-Böden.

³⁰ James Lovelock, Vater der Gaia-Hypothese (welche die Erde als einen großen Organismus betrachtet), sieht in Biokohle einen Weg, die natürlichen Energiesysteme gegen sich selbst zu hebeln: «Gaia würde das erlauben» (s. Goodell 2010: 107). Er stellt sich eine Welt vor, in der alle Bauern aus ihren Ernteresten selbst Biokohle herstellen und vergraben.

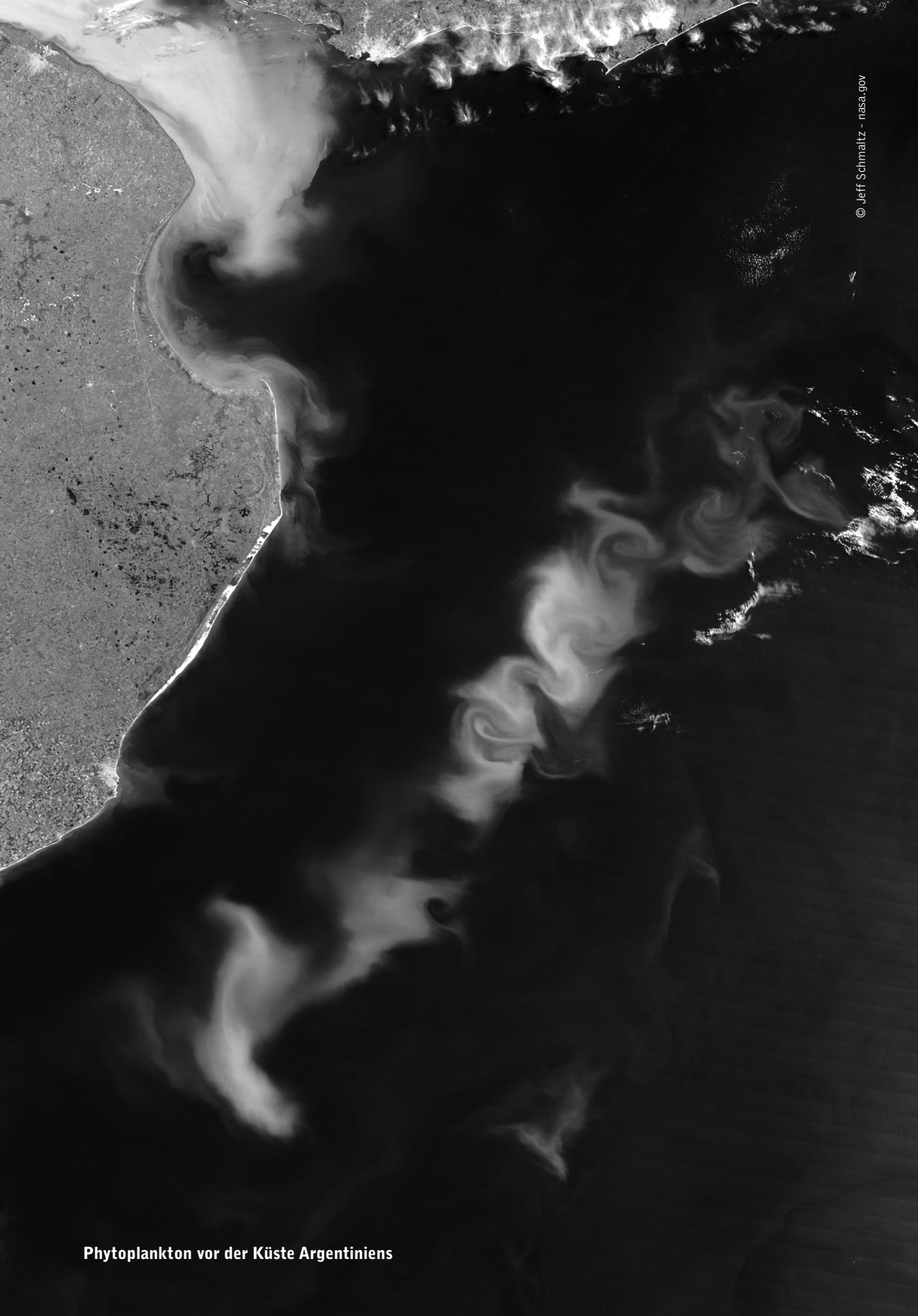
³¹ In Berlin gab es bereits 2011 eine große Debatte um die Zuverfeuerung von aus Liberia importiertem Holz in einem Kohlekraftwerk zum Zwecke der Emissionsminimierung.

Das LOHAFEX-Experiment

Als das Forschungsschiff «Polarstern» im Jahr 2009 aufbrach, um im Südatlantik ca. 6 Tonnen gelöstes Eisen auf 300 qm zu verteilen, bekam die zuständige Ministerin Schavan dafür viel Kritik. Die Zivilgesellschaft sah einen weiteren Schritt von der Theorie zur Praxis des Geo-Engineering, und selbst einige Regierungen echauffierten sich über Deutschland und das Partnerland Indien. Umweltminister Röttgen war ebenfalls skeptisch.

Dabei war dieser Versuch nicht der erste (jedoch der bisher größte), der mittels Eisen das Wachstum einzelliger Algen steigern wollte, die dann CO₂ aufnehmen und abwärts transportieren würden. Doch eine UN-Konferenz (CBD-COP9) hatte im Jahr zuvor genau diese Art der Ozeandüngung de facto mit einem Moratorium belegt: Derzeit seien großflächige Düngungsoperationen nicht gerechtfertigt, Experimente lediglich in kleinem Rahmen in Küstengewässern erlaubt, und überhaupt sei äußerste Vorsicht geboten. Keines der bisher 13 Experimente war zudem erfolgreich.

Im Nachhinein folgte Schavan der Kritik und kam ebenfalls zu der Überzeugung, dass Meeresdüngung mit Eisen keinen wirksamen Klimaschutz darstellt, da die Algen auf Grund von anderen Faktoren doch nicht so stark wie erwartet wuchsen.



Die Ozean-Theorie

Die Ozeane sind der wahre CO₂-Speicher des Blauen Planeten.³² Sie verfügen über zwei Pumpen, die das Klimagas direkt bzw. indirekt in die dunklen Tiefen befördern: eine biologische (über das Absinken gestorbener Kleinstlebewesen, dem Phytoplankton) und eine physikalische (durch Auftrieb von Warmwasser im Golfstrom). Das Meer nimmt der Atmosphäre ungefähr die Hälfte des menschgemachten CO₂ ab, was zu einer dreißigprozentigen Versauerung der Weltmeere geführt hat. Sämtliche SRM-Methoden (und viele CDR-Methoden) vergessen aber dieses schleichende Umweltproblem. Schon in den frühen 1990er Jahren wurde die Theorie der «Ozeandüngung» mittels Phosphor, Stickstoff oder Mikronährstoffen wie Eisen prominent vertreten,³³ da hier ein theoretisch großes Kompensationspotenzial von bis zu 1GtC/Jahr³⁴ möglich erscheint.

Andere Theorien wollen eine Veränderung der marinen Schichten, also der Wasserlagen, herbeiführen. Dabei würde man versuchen, beide o.g. Pumpen zu beschleunigen und so mehr CO₂ in die Tiefen zu bringen. Dafür wären, einem Entwurf von Yool (2009) und Lampitt (2008) folgend, ca. 200 bis 800 Millionen Hochseepumpen nötig. Einzig umsetzbar scheint die Methode, künstlich Meereis zu bilden bzw. zu verstärken (z.B. vor Grönland) und so mehr kühles Wasser zu erzeugen, das dann absinken kann.

Bedenken

Die potenziellen und tatsächlichen Nebenwirkungen auf die Umwelt wären wohl immens. Es müsste eine gewaltige Fläche gedüngt werden, und es erfordert eine gewisse Zeit, bis sich der CO₂-Gehalt von Meer und Atmosphäre ausbalancieren. Außerdem müsste die Herstellung bzw. Ausbringung des Düngers klimaneutral sein. Bisher sind trotz Feldversuchen noch keine Ergebnisse erzielt worden, die die Effektivität dieser Maßnahme in der Praxis bewiesen.³⁵ Bei den benötigten Millionen Pumpen ist außerdem die CO₂-Bilanz unklar. Zudem müsste erst einmal die rund zehnprozentige Abschwächung der physikalischen Pumpe – sprich: Golfstrom – in Folge des Klimawandels ausgeglichen werden. Es gibt noch weitere Möglichkeiten,³⁶

32 Während atmosphärisches CO₂ auf eine Größenordnung von 750 Gt kommt, erreicht marines ca. 40.000 Gt.

33 Der kalifornische Ozeanologe John Martin, Entdecker dieses Effekts, meinte provokant: «[g]ive me a half tanker of iron and I'll give you the next ice age» (s. BMBF 2011: 14).

34 1 Gt Kohlenstoff (C) = ~3.67 Gt Kohlenstoffdioxid (CO₂); das halten Chisholm (2001) und Caldeira für zu optimistisch.

35 Die ETC Group (2011: 25) verweist auf eine Reihe weiterer Risiken, u.a. das Absinken des Sauerstoffgehaltes oder die Bildung von schädlichen Gasen.

36 Die physikalische Pumpe könnte auch durch Kalkung des Ozeans beschleunigt werden. Allerdings müsste dazu Kalziumoxid zuerst durch energieintensive Prozesse gewonnen werden. Negative Auswirkungen auf die Meeresökologie sind nicht ausgeschlossen. Es gibt zu dieser und ähnlichen Methoden, die als «enhanced weathering» zusammengefasst werden, bisher ungenügend Literatur und Forschung.

die technisch und chemisch möglich sind, aber in der erforderlichen Größenordnung nicht umsetzbar und hoch riskant wären.

Tabelle 2: Schematische Darstellung der CDR-Vorschläge

Technik	Klima- wirkung	Kosten	Verfüg- barkeit**	Wirkung*	Neben- effekte	Umkehr- barkeit**
Aufforstung	eher gering	moderat	gut	moderat	wenige	moderat
Biokohle	moderat	eher niedrig	moderat	langsam	einige	gering
BECCS	moderat	hoch	moderat	langsam	einige	gering
«Düngung» der Ozeane	–	–	–	–	–	–
mit Eisen	moderat	niedrig	moderat	langsam	viele	moderat
mit Mineralien	hoch	hoch	gering	langsam	einige	keine
Veränder- ung der Kohlenstoff- pumpen im Meer	unbekannt	unbekannt	sehr gering	unbekannt	sehr viele	unbekannt
Air Capture	gering	sehr hoch	gering	moderat	gering	unbekannt

* Die Wirkung bezieht sich dabei lediglich auf die CO₂-bezogene Wirkung, nicht das Wettersystem.

** Die Indikatoren «Verfügbarkeit» und «Umkehrbarkeit» beachten keine sozio-ökonomischen Gründe.

Diese Tabelle basiert z.T. auf den Daten im Reviewed Draft vom 23.1.2012 der CBD. Dieser ist weder beschlossen noch veröffentlicht.

Quelle: eigene Darstellung, z.T. nach BMBF 2011, CBD 2012

3 Die Eckpfeiler der Debatte

In deutschen Zeitungen und Magazinen tauchte das Thema «Geo-Engineering» nach dem Desaster mit dem Kopenhagener Klimagipfel und vermehrt zu Beginn 2012 auf. Dabei herrschte neben Neugier eine skeptisch-abwartende Haltung vor. Die akademischen Debatten sind hingegen hoch differenziert und werden nur von kleinen Teilen der Zivilgesellschaft verfolgt. Während Expertinnen und Experten das Für und Wider vor allem über E-Mail-Listen³⁷ diskutieren, hat die öffentliche Debatte ein erhöhtes Polarisierungspotenzial. So machen sich im Populärdiskurs die Befürworter von Geo-Engineering den taktischen Vorteil zu Eigen, dass sie die zahlreichen Opfer und Nachteile des Klimawandels den vermeintlichen Risiken ihrer Technologien gegenüberstellen. Die Gegenposition muss somit begründen, warum sie nicht eine riskante Rettung dem fast sicheren Tod von Millionen vorzieht. Dieses ethische Dilemma wird durch den Vergleich mit der Chemotherapie als ultima ratio für Krebspatienten unterstrichen. Bei diesem Vergleich wird unterstellt, die Welt sei ein alter Kettenraucher, den nur noch die Chemie oder die Bestrahlung vor dem sicheren Ende bewahren kann. Hinter dieser Argumentation könnte eine globale Schockstrategie³⁸ vermutet werden: Die Katastrophe ist fast da, und nun muss schnell und effektiv gehandelt werden. Da Zögerlichkeit Versagen bedeutet, wird kritiklos der vorbereitete Rettungsplan trotz Risiken und Nebenwirkungen schnell übernommen, frei nach dem Motto: «There is no alternative.»³⁹

Man sollte jedoch einen Blick auf die Motivationen und Hintergründe der Protagonisten beachten. Die Konfliktlinien sind, da es nicht um Ideologie, sondern eher um ethische Fragen und Technologieabschätzung geht, verschoben. Viele Graubereiche machen eine klare Einteilung der Diskutierenden und ihrer Argumente nicht einfach, trotzdem soll es hier im Folgenden versucht werden.

37 Interessierten sei dabei vor allem die Liste geoengineering@googlegroups.com zu empfehlen, auf der viele bekannte Köpfe sich auf philosophische und praktische Grundsatzdebatten einlassen. Zudem werden neueste Forschungsergebnisse hier zuerst diskutiert.

38 Diese von Naomi Klein (*The Shock Doctrine*, 2007) aufgestellte Theorie besagt, dass neoliberale Politiken nach Wirtschaftskrisen, Militärputschs oder Umweltkatastrophen rasch das Fahrwasser besetzen und für Privatisierungsmaßnahmen und einen Abbau des Sozialstaates sorgen.

39 Dt.: «Es gibt keine Alternative.» Dieser, auch als «TINA-Prinzip» berühmt-berüchtigte Ansatz geht auf Margaret Thatcher zurück, die in den 1980er Jahren damit die Durchsetzung ihrer Liberalisierungspolitik rechtfertigte.

Was dafür spricht...

Trotz der Menge an Argumenten gibt es einige wenige, meist aus Fachdisziplinen kommende Experten, die nur noch über das «Wie» debattieren wollen. Aus ihrer Sicht ist die Sache nämlich ziemlich klar: Geo-Engineering ist effektiver als die klassische Klimapolitik. Diese Überzeugung kommt aus einem rein ökonomischen Kosten-Nutzen-Denken, einem utilitaristischen Kalkül («Der Zweck heiligt die Mittel!») oder einer generellen Skepsis gegenüber der Wirksamkeit von Politik. Diese Argumentation ist jedoch nicht ohne Zynismus, und die Verfechter des Geo-Engineering müssen sich den Vorwurf gefallen lassen, selbst unethisch zu sein, da sie ethische Probleme nur mit instrumenteller Logik zu lösen versuchen. Dabei ist selbst bei dieser eindeutigen Sicht noch Raum für Abstufungen entlang der verschiedenen Technologien.

Jedenfalls liegt dem skizzierten Denken ein Konsequentialismus zu Grunde: Der Klimawandel werde so katastrophal werden, dass Geo-Engineering jede ethische Argumentation gewinne. Denn es bestünde die Chance, damit mehr Zeit für eine ökologische Transformation kaufen zu können. Somit sind SRM-Methoden wie Aerosol-Sprühung interessanter als CDR-Methoden.⁴⁰ (Wie aber beendet man einen Geo-Engineering-Einsatz wieder? Dieser Frage müsste man sich auch stellen.)

Eine weitere Spielart dieses Denkmusters bewertet Geo-Engineering als Plan B. Demnach sollen die neuen Technologien nur im Notfall eingesetzt, sprich: wenn die natürlichen Kippunkte im Klimasystem⁴¹ plötzlich überschritten werden.⁴² Hierfür seien alle Technologien recht. Vor der klassischen «Back-up»-Lösung mit den schnell einsatzbereiten SRM-Technologien könnte – so die Argumentation – schon heute mit weniger riskantem CDR begonnen werden, weil durch die Trägheit des Klimasystems Kippunkte vielleicht nur dann vermieden werden, wenn wir möglichst schnell die atmosphärische CO₂-Konzentration nicht nur stabilisieren, sondern sogar verringern. Diese Argumentation ist eine alternative Version des Vorsorgeprinzips und muss sich dennoch gegen den ethischen Vorwurf erwehren, dass ein Plan B dem eigentlichen Plan A – der Vermeidung von Emissionen – vorgezogen bzw. das sogenannte «Moral hazard»-Problem⁴³ in Kauf genommen wird.

40 CDR wirkt langsamer, so wird bspw. mit einem Einsatz von Air Capture frühestens 2018 gerechnet; siehe: <http://www.dawn.com/2011/10/27/air-capture-technology-ready-by-2018-uk-engineers.html>.

41 Der IPCC identifizierte mehrere kritische Regionen, in denen bestimmte Veränderungen den Klimawandel noch mehr beschleunigen würden: z.B. das Abtauen der sibirischen Permafrostböden (Methanfreisetzung), das Schmelzen des Grönlandeises, eine Störung des Monsuns oder Trockenheit im Amazonas-Regenwald.

42 Dabei gibt es divergierende Einschätzungen: So warnt die Arctic Methane Emergency Group vehement vor einer baldigen arktischen Schmelze und erntet dafür u.a. Kritik auch aus der Wissenschaft (s. <http://geoengineeringpolitics.blogspot.com/2011/12/arctic-methane-emergencies-and-alarmism.html>).

43 Dieses Problem beschreibt eine Verhaltensänderung durch eine Versicherung gegen ein Risiko. Anders ausgedrückt: «Durch Geo-Engineering droht ein Paradigmenwechsel in der Klimaschutzpolitik, der die bisherige Einigkeit, dass Minderungsmaßnahmen in erheblichem Ausmaß erforderlich sind, in Frage stellt» (UBA 2011: 7).

Geo-Engineering als normaler nächster Schritt der Klimapolitik?

Der «MAG-Ansatz» (nach IMECHE 2009) besagt, dass Klimapolitik ganz natürlich aus folgenden drei Teilen besteht:

- *Mitigation* – Vermeidung von CO₂-Emissionen;
- *Adaptation* – eine Anpassung an die unvermeidlichen Auswirkungen des Klimawandels;
- *Geo-Engineering* – durch SRM- oder CDR-Technologie die globale Erwärmung verlangsamen.

...und was dagegen

Die kritischen Stimmen reichen von Konservativen, die sich um die Schöpfung sorgen, bis hin zu technologieskeptischen Antikapitalisten. Zudem gibt es Grauzonen: So könnte man sich trotz Skepsis theoretisch auch für CDR-Ansätze erwärmen: als ein weiteres Puzzlestück der Klimapolitik. Manche Kritikerinnen und Kritiker könnten bei internationaler Kontrolle und Abstimmung über strengste Auflagen eventuell auch weiterer Forschung zustimmen.

Eine konsequente Haltung gegen das Geo-Engineering beruht meist auf der Überzeugung, dass wissenschaftliche Erkenntnis und technologischer Fortschritt den Menschen und seine Umwelt nicht grundsätzlich immer verbessern. Meistens geht diese Haltung mit einer Kapitalismuskritik einher und betont besonders die Fragen «Wer entscheidet?», «Wer kontrolliert?» und «Wer profitiert?». Hier finden sich, neben den religiös motivierten, die schärfsten Kritikerinnen und Kritiker.

Andere hoffen wiederum, dass eine öffentliche Debatte um Geo-Engineering hilfreich für die derzeitige klassische und ins Stocken geratene Klimapolitik sein kann (Urpelainen 2012). Wenn Versuche von Geo-Engineering einen öffentlichen Aufschrei hervorrufen würden, so könnte dies die Bereitschaft zu härteren Mitigationsmaßnahmen erhöhen.

Vom Glauben an die Technologie

Ungerechterweise müssen sich warnende Stimmen immer wieder dem Vorwurf der Technologiefeindlichkeit stellen. Dabei ist doch gerade die Vorsicht vor sich verselbständigenden Technologien elementar wichtig. Der lediglich auf (Natur-)Wissenschaft gestützte naive Progressivismus scheint aber seine Vormachtstellung langsam

zu verlieren. Eine Wahrnehmung wird immer stärker, die die Chance und die Bedrohung des «Anthropozäns»⁴⁴ gleichermaßen erkennt. Denn,

«[j]e planmäßiger die Menschen vorgehen, desto wirksamer vermag sie der Zufall zu treffen».

Friedrich Dürrenmatt

Wissenschaftlicher Fortschritt steigert aber auch die Erkenntnis. Vor einigen Jahrzehnten noch sagten beispielsweise wissenschaftliche Modelle voraus, dass es für die Ozonschicht keine Gefahr durch FCKW-Gase gebe. Doch dann entdeckte man über der Antarktis eine Anhäufung dieser Gase und ein gewaltiges Loch in der Ozonschicht – an eine ungleiche Verteilung der Gase hatte niemand gedacht. Durch die neue Erkenntnis wurde eine Katastrophe verhindert.

Was wäre, wenn die Geo-Engineering-Modelle ebenfalls solch fundamentale Lücken aufwiesen? Egal, wie man zu Geo-Engineering steht – es wäre naiv zu glauben, dass wissenschaftliche Modelle immer perfekt seien oder frei von politischer Einflussnahme. Ob die Risiken von CDR und SRM angesichts des ungebremsten Klimawandels doch in Kauf zu nehmen sind, kann daher nicht (nur) auf Grundlage von Naturgesetzen oder ökonomischen Modellen berechnet werden.

Fortschritt darf kein Selbstzweck sein. Er muss ein Ziel haben, das generell «das gute Leben» aller Menschen sein könnte. Dabei sind dem Menschen die Grenzen seines Planeten vorgegeben. Das Geo-Engineering ist nicht der Ausdruck von Demut vor den wundersamen Mechanismen der Natur, sondern von blindem Selbstbewusstsein und dem Glauben, dass alles machbar, alles zu verstehen, alles reparierbar sei. Der Autor Kevin Kelly schrieb, wir «möchten gerne glauben, unser Gehirn sei das großartigste Organ der Welt. Doch wir müssen uns bewusst machen, welches Organ uns das erzählt» (in: Adams 2010).

⁴⁴ Begriff von Paul Crutzen, einem Vordenker des Geo-Engineering. Er beschreibt ein geologisches Zeitalter, das durch den Einfluss des Menschen bestimmt ist (s. Crutzens Buch *Die Geologie der Menschheit*, das 2011 bei Suhrkamp erschienen ist).

Tabelle 3: Ausgewählte Argumente für und wider Geo-Engineering

Argument	Kritische Stimme	Befürwortende Stimme
Politikversagen	Die Diplomatie hat bisher schon so oft versagt und würde es erst Recht bei der nötigen Regulierung von Geo-Engineering.	Die Diplomatie hat u.a. 2009 in Kopenhagen versagt, die Politik kommt nirgends mit der Mitigation voran. Deshalb brauchen wir jetzt einen großen, technikgestützten Wurf.
Plan-B	Sicher gibt es diese Unsicherheiten, doch diese werden durch neue Unsicherheiten nicht vermieden, sondern bestehen nach wie vor. «Es reicht, [dann] mit der Erforschung später zu beginnen. Außerdem wäre es sogar Vergeudung, heute eine Intervention vorzubereiten, die [vielleicht] erst in 50 Jahren ansteht: die technologischen Rahmenbedingungen, unter denen die Intervention vorgenommen wird, sind heute noch gar nicht absehbar» (Gardiner 2010, in: BMBF 2011).	Wenn plötzlich die Kippunkte im Klimasystem umgelegt werden (z.B. die Freisetzung des sibirischen Methans), dann muss schnell und groß gehandelt werden. Klassischer Klimaschutz ist richtig, aber wir brauchen einen Plan B, falls er nicht ausreicht. «Der vorschnelle Einsatz [von Geo-Engineering, könnte] durch ein internationales Moratorium unterbunden werden» (BMBF 2011: 28)
Zeitknappheit	Um jetzt Zeit kaufen zu können, müsste die Technik auch jetzt Einsatzfähig sein. Das ist sie aber nicht oder nur mit sehr großen Unsicherheiten.	Klassischer Klimaschutz dauert zu lange, z.B. im UNFCCC-Prozess. Auch wenn der Weg der richtige ist, brauchen wir Geo-Engineering als Brücke.
Natürlicher Prozess	Der menschengemachte Klimawandel ist zwar auch «nur» eine Verstärkung natürlicher Prozesse. In der Natur sind aber bereits kleine Schwankungen für viele Spezies eine große Gefahr, wenn es zu schnell passiert.	Geo-Engineering imitiert bzw. verstärkt nur natürliche Prozesse wie Vulkanausbrüche oder Photosynthese.
«Do-it-alone»	Bei allen Technologien steigt die CO ₂ -Konzentration weiterhin, bzw. die unterirdischen Speicher füllen sich immer weiter. Geo-Engineering kann nie einzige Option sein.	Geo-Engineering ist effizienter, wirtschaftlicher und leichter durchsetzbar als klassische Vermeidung. Es ist daher einfach die bessere Variante.
«Lesser Evil»	Zum Einen wissen wir nie ganz genau, wie eine Welt mit/ohne Geo-Engineering aussehen wird - Vergleiche sind daher Spekulation. zum Anderen wird zukünftigen Generationen die Chance genommen, selber zu entscheiden, mit welchem Übel sie umgehen wollen.	Der Klimawandel birgt die Gefahr, dass Geo-Engineering samt der Risiken und Nebenfolgen immer noch das vergleichbar kleinere Übel sein würde.

Argument	Kritische Stimme	Befürwortende Stimme
«Moral Hazard»	Wenn das «effizientere» Geo-Engineering auf dem Tisch liegt, gibt es vielleicht keinen Willen bzw. keine Ressourcen mehr für Mitigation. Dies ist sehr wahrscheinlich, wenn erste Experimente erfolgreich sind und die Öffentlichkeit einem Einsatz zustimmt. Hamilton (2011) schätzt eine Verzögerung der Mitigationsbemühungen mit Verweis auf die Erfahrung um CCS als sehr wahrscheinlich ein.	Keith (in BMBF 2011) unterstellt dem Argument eine falsche Exklusivität, da theoretisch ja beides möglich (und nötig) ist. Zudem gab es die gleiche Skepsis gegenüber der Adaptation. Heute ist die Anpassung an den Klimawandel ein zentraler Pfeiler der Klimaverhandlungen - gerade für kritische NGOs oder verletzte Staaten. Adressat dieser Bedenken sollte die Vermeidungspolitik, nicht die Geo-Engineering-forschung sein.
«Slippery Slope»	Durch die Forschung wird eine Technologie so weit gebracht, dass sie danach niedrigschwellig umzusetzen ist. Durch Selbstläuffeffekte kann keine ergebnisoffene Entscheidung zu einem späteren Zeitpunkt mehr getroffen werden, da vielleicht politischer, wirtschaftlicher oder sozialer Druck aufgebaut wurde.	Dieses Argument kann gegen fast alle Forschung eingesetzt werden, aber es gibt genug Beispiele, bei denen starke Forschung zu keiner automatischen Implementation führte (z.B. Kernfusion oder CCS).
Langfristperspektive	Es entstehen extrem hohe Folgekosten und eine immense Verantwortung für künftige Generationen.	Das gleiche trifft zu, wenn der Klimawandel nicht bekämpft wird.
Terminationsproblem	Die potentiell mildernde Wirkung von Geo-Engineering (v.a. SRM) besteht nur so lange, wie eine Technologie angewandt wird. Wenn sie gestoppt wird, könnte sich der Klimawandel rapide beschleunigen. Es ist unklar, wie so ein Ausstieg funktionieren kann.	Genau deshalb brauchen wir mehr Forschung. Zudem gibt Geo-Engineering uns ja die Zeit, mit der richtigen Mitigationpolitik «aufzuholen».
Lock-In (technologisch/sozio-ökonomisch)	Die Maßnahmen können nicht mehr gestoppt werden ohne (a) größere Schäden oder (b) einen Kampf gegen neue Interessen.	Deshalb ist eine klare Governance der Technologien notwendig, um keine sich selbstständigenden Interessen zu produzieren.
Kommerzielle Kontrolle	Profit-orientierte Interessen könnten Vorsorge- und Gerechtigkeitsaspekte außer Acht lassen (z.B. Pharmaindustrie). Zudem müssten die Kosten sich amortisieren, was eine gewisse Mindestlaufzeit einer Technologie bedeuten würde.	Daher braucht es öffentliche Forschungsgelder, und die Technologien sollten unter die offene Lizenz gestellt werden. Hier muss die Politik ihre Verantwortung wahrnehmen.

Selbstbestimmungsrechte werden verletzt	Der UN-Grundsatz der Selbstbestimmungsrechte und des freien, vorherigen und informierten Konsenses mit den betroffenen Menschen, v.a. den Indigenen, kann nicht eingehalten werden.	Der Klimawandel würde auch diesen Menschen ihre Lebensgrundlage rauben. Über Kompensationen kann zudem verhandelt werden - bei Geo-Engineering noch eher als beim noch abstrakteren Klimawandel.
Verstärkung globaler Ungerechtigkeiten	Die schon heute benachteiligten Menschen bekommen tendenziell mehr Nebenwirkungen zu spüren, haben weniger Mitspracherechte und werden weiterhin der Fähigkeiten beraubt, ein menschenwürdiges Leben zu leben (Nussbaum/Sen 1993, Rawls 1975, Gosepath 2004, Pogge 2002 in: BMBF 2011: 33)	Globale Ungerechtigkeiten sind ein generelles Problem und müssen ständig benannt werden, aber die wahren Gründe (z.B. ökonomisch oder kulturell) liegen tiefer und sollten nicht Geo-Engineering angelastet werden.
Irreduzierbare Unsicherheiten	Es besteht immer ein kleines Restrisiko, welches keine Versicherung der Welt tragen kann.	Aber Forschung und Governance können dieses Risiko weiter minimieren. Der Klimawandel an sich ist schon ein irreduzierbares Risiko.
«Dual-Use»-Gefahr	Die Technik könnte für militärische oder rein kommerzielle Zwecke missbraucht werden.	Es besteht bei vielen technologischen Neuerungen diese Gefahr. Andererseits könnte es auch ohne den Einsatz zur Nutzung durch diese Interessen kommen, denn diese Akteure forschen sowieso weiter. Man hätte dann den Nachteil, aber nicht den Vorteil. Deshalb muss es zivile Forschung geben.
Klimakriege	Die Gefahr der «Klimakriege» steigt rapide, wenn die Techniken erst einmal möglich sind.	Die potentiellen Kriegsführer/innen haben diese Optionen schon lange bedacht. Nur Forschung kann die Risiken beleuchten und zu einer internationalen Ächtung führen.
«Human Error»	Menschliche Fehler sind nie ausgeschlossen, d.h. auch, dass keine Technologie 100% fehlerfrei ist (siehe Fukushima).	Die Klimakrise ist dieses Risiko wert. Und je früher und je stärker wir forschen, desto kleiner wird das Risiko.
Normative Einwände	Wir dürfen nicht Gott spielen. Mutter Natur darf nicht vom Menschen verändert werden.	Dieses Argument ist moralisierend und unwissenschaftlich. Es darf nur in die gesellschaftliche Diskussion um den Einsatz von Geo-Engineering eingebracht werden, nicht aber Forschung verbieten.

Argument	Kritische Stimme	Befürwortende Stimme
Psychologische Auswirkungen	Diese große Veränderung würde den Menschen in eine völlig andere Relation zur Umwelt setzen; mit nicht vorhersehbaren kulturellen und psychologischen Folgen.	Das ist ein Zivilisationsproblem und nicht speziell nur hier präsent. Die Atombombe, Sputnik und das Internet haben auch gewaltige Veränderungen hervorgerufen.
Globale Kontrolle ist unmöglich	Eine so verlockende, mächtige und gleichzeitig so verfügbare Technologie ist unmöglich multilateral zu regulieren. Eine Einigung im Klimaregime ist da wahrscheinlicher.	Da alle die Risiken und Nebenwirkungen sehen, würden auch alle an einem Strang ziehen. Zudem sind die Kosten multilateralen Vorgehens gering, die Gewinne für einzelne aber hoch (im Klimaregime ist es umgekehrt).

Quelle: eigene Darstellung

4 Wer profitiert?

Auf den ersten Blick sieht es so aus, als bestünde beim Geo-Engineering in erster Linie die Gefahr, dass einzelne Staaten oder Akteure der Technik habhaft werden und sie trotz Nachteilen für andere Menschen einsetzen würden. Dies ist ein Problem, das von Gegnern wie Befürwortern anerkannt wird. Doch der Kreis der «Verdächtigen» ist immer noch sehr begrenzt, da nur reiche Staaten die Hard- und Software der Technologien wirklich handhaben könnten. Dies gibt die Möglichkeit – zumindest theoretisch – einer politischen Regulierung. Jedoch muss auch auf den Einfluss wirtschaftlicher Interessen hingewiesen werden, denn Firmen, Regierungen und Privatpersonen finanzieren zum Teil schon jetzt die entsprechende Forschung.

Das Primat des Marktes

Ohne staatlich gesetzte Preissignale wird Geo-Engineering für große Firmen aber unattraktiv bleiben. Folglich schreien gerade CDR-Optionen danach, auch in den Kohlenstoffmarkt aufgenommen zu werden.⁴⁵ Nur hier ließe sich mit relativer Sicherheit sagen, wie viel CO₂ denn tatsächlich «reduziert» wurde.⁴⁶ Die Nutzung von Waldmechanismen («REDD+») könnte hier als Türöffner fungieren, da Aufforstung in gewisser Weise eine kleine Geo-Engineering-Methode ist. Folgerichtig plant die Beratungsfirma McKinsey ebenfalls eine Studie zur ökonomischen Dimension von Geo-Engineering, welche ähnliche Auswirkungen wie die «McKinsey Climate Cost Curve»⁴⁷ haben dürfte.

«Das Problem damit, Ökonomen über die angemessene Antwort einer Gesellschaft auf die Globale Erwärmung entscheiden zu lassen, ist, dass diese ihre Analysen nur auf ihren eigenen Annahmen über Kosten und Nutzen verschiedener Strategien basieren.»

Romm 2009a, Übersetzung d. A.

⁴⁵ Diese Tatsache sehen z.B. die Autoren des populären Buches *Superfreakonomics* nicht, wenn sie die Sprühung von Sulfataerosolen propagieren.

⁴⁶ Dem widersprechen jedoch Sallie Chistholm et al. (2001) in Bezug auf Ozeandüngung heftig.

⁴⁷ Diese 2009 vorgestellte Kostenkalkulation berechnet die Kosten und Nutzen verschiedener Klimaschutzmaßnahmen. Sie hatte Einfluss auf Unternehmens- und Regierungsprogramme, führte aber auch zu «perversen Anreizen» wie Regenwaldabholzung. Für mehr Informationen siehe <http://www.greenpeace.org/international/en/publications/reports/Bad-Influence/>.

Schon in den 1990er Jahren wollten Firmen durch «Ozeandüngung» die durch das Kyoto-Protokoll eingeführten «offsets»⁴⁸ erlangen. Sie haben anschauliche Namen wie Planktos⁴⁹, Climos, Carboncorp USA oder Greensea Venture. Die erhoffte Anrechnung am Kohlenstoffmarkt wurde von der CBD jedoch 2008 ausgeschlossen. Allerdings fallen dennoch profitable Trostpreise ab: So besitzt der Chef der Ocean Nourishment Corporation, Prof. Ian Jones, das Patent auf eine Methode, um Fischbestände mittels Phytoplankton-Wachstum anzulocken.⁵⁰

Vergleich Mittelbedarf und Aufwendungen für die klassische Klimapolitik und das Geo-Engineering (alle Zahlen in US-Dollar, Stand 2011)

Notwendige Investitionen Klimapolitik

Anpassung: 60-182 Mrd. bis 2030 für globale Anpassung (laut UNFCCC)

Vermeidung: sofort 1% des globalen BIP (laut Stern-Report 2006; entspricht fast 700 Mrd.)

Getätigte Investitionen

Mitigation: 1,17 Mrd. (2004-2011)

Adaptation-Fund: in 2011 insgesamt 957 Mio. zugesagt, davon 95 Mio. bisher geflossen

Notwendige Investitionen SRM

Aerosol-Sprühung: 30 Mrd.⁵¹

Albedo: 300 Mrd. (UBA 2011)

Forschung und Entwicklung: 100 Mio. Britische Pfund (Royal Society 2009)

Getätigte Investitionen

Bill Gates: einmalig 4,6 Mio. für den «Fund for Innovative Climate and Energy Research»⁵²

US-Regierung: 100 Mio. für Forschung (2009-2010)

(Privatvermögen Bill Gates: 61 Mrd.; Richard Branson: 4,2 Mrd.)

Quellen: <http://www.climatefundsupdate.org> und <http://www.theecologist.org> wenn nicht anders gekennzeichnet.

- 48 Die im Kyoto-Protokoll Reduktionsverpflichtungen unterliegenden Industriestaaten (Annex-1-Staaten) können durch von ihnen (mit) finanzierte Klimaprojekte in den sog. «Entwicklungsländern» (Non-Annex 1) die dort erzielten Emissionsminderungen auf ihr CO₂-Konto gutschreiben lassen, d.h. diese Minderungen müssen dann nicht im eigenen Land erbracht werden.
- 49 Planktos ist mittlerweile bankrott, weil die von ihnen geplante Austragung von Eisen vor den Kanaren 2007 von Umweltgruppen und der spanischen Regierung erfolgreich verhindert wurde, trotz ehemaliger Greenpeace und UNEP-Mitarbeiter (sowie mindestens einem Verschwörungstheoretiker) in Planktos Reihen.
- 50 Dies ist eigentlich nur ein möglicher Nebeneffekt von Ozeandüngung. Das Patent spricht Jones aber auch das Recht auf alle Fische zu, die in der gedüngten Gegend gefangen werden.
- 51 Schätzung ohne Angabe eines Zeithorizontes für «the direct economic costs to deploy any one of several such shortwave climate engineering (SWCE)» (Blackstock et al. 2009).
- 52 Dahinter stehen v.a. David Keith und Ken Caldeira, s.u.

Tabelle 4: Patente für das Geo-Engineering

Patentnummer	Zusammenfassung	Patenthalter	Publikationsdatum
W02009062093A1	Systeme und Methoden zur Quantifizierung und qualitativen Einstufung von Kohlenstoffeinsparungen durch Ozeandüngung	Climos, ein Think Tank, u.a. welcher v.a. die Eisendüngung der Ozeane voranbringen möchte	14. Mai 2009
W02008131485A1	Methode zur Anlockung und Konzentration von Fisch	Ian Jones, Ocean Nourishment Foundation, s. Text	6. Nov. 2008
US20090173386A1	Methode und Anwendung einer Technik, um Warmwasser per Schiff mittels Wellen in die Tiefe zu befördern	Ken Caldeira, Bill Gates, Nathan Myhrvold, Stephen Salter u.a.	9. Jul. 2009
W02008131472A1	Eine Methode zur Ozeandüngung von einem Schiff aus	Ian Jones und die Ocean Nourishment Foundation u.a.	6. Nov. 2008
US5965117	Wasserfeste Partikelchen mit Mikronährstoffen für die Eisendüngung von Ozeanen	DuPont, einer der größten globalen Chemiekonzerne	12. Okt. 1999
GB2448591A8	Methode, um atmosphärische Veränderungen herbeizurufen, indem Schwefeloxid durch einen Schlauch in großen Höhen ausgebracht wird	Nathan Myhrvold u.a.	26. Nov. 2008
GB0815498A0	Apparatur, um vom Ozean aus den Albedoeffekt durch die Wolken zu verstärken	Stephen Salter	1. Okt. 2008
US20090227161A1	Anorganische Partikel, welche als Reflektoren im Meer schwimmen	US Department of Energy	10. Sep. 2009

Quelle: eigene Auswahl aus ETC Group 2011

Militärischer Einfluss

Ein Großteil Forschung und Patente kam bisher von Kleinunternehmen rund um einige intellektuelle Köpfe, doch es bestehen bereits jetzt Verbindungen zum militärisch-industriellen Komplex.⁵³ So engagiert sich die US-amerikanische Militäragentur DARPA, die deutsche Bundeswehr prüft sicherheitspolitische Risiken, und die Aurora Flight Sciences, das Unternehmen hinter den in Afghanistan eingesetzten US-Kampfdrohnen, hilft die Kosten von Aerosol-Sprühung zu berechnen.

So ist es wenig verwunderlich, dass eine Größe der Szene ein Mann ist, der hinter den US-Nuklearwaffen, der Wasserstoffbombe und Ronald Reagans «Star Wars»-Programm stand: Edward Teller.⁵⁴ Bevor er 1997 vorschlug, ein großes Segel zwischen Erde und Sonne zu spannen, wollte er den Planeten in den 1960er und 1970er Jahren mit Atombomben umformen.⁵⁵ Sein Ziehsohn Lowell Wood folgte ihm am berühmten Lawrence Livermore National Laboratory⁵⁶ in Kalifornien. Dieser ist fest davon überzeugt, dass Geo-Engineering am Ende Realität wird, denn «so läuft das in einer Demokratie. Die Leute zahlen nie mehr, als sie müssten» (in Goodell 2010:125).

Die Popstars des Geo-Engineering

Zwei Männer sind derzeit am exponiertesten in der Debatte um Geo-Engineering: David Keith und Ken Caldeira. Als Freund unkonventioneller Gedanken hat David Keith, mittlerweile Professor an der Harvard University, sich einen Namen gemacht. Er erwähnte früh den Rebound-Effekt⁵⁷ und propagiert die Atomenergie. Schon seit Jahren begeistert ihn die Idee des Geo-Engineering, doch in einer der ersten Systematisierungen wies er noch auf Gerechtigkeitsfragen und das hohe Risiko von Schwefelinjektionen in die Stratosphäre hin (Keith/Dowlatabadi 1992). Zwar bewertet er diese Risiken heute geringer, doch ist er Verfechter der These, dass die Forschung *gerade* für die frühe Erkennung von Risiken und Nebenwirkungen unerlässlich ist. Keith sieht zudem private Akteure kritisch. Diese könnten zwar die Effizienz steigern und Zulieferer sein, aber nicht über den Einsatz entscheiden; dass wäre sonst so, «als würde Lockheed Martin [großer US-Rüstungskonzern, d. A.] entscheiden, welches

53 Die großen Akteure aus diesem Bereich sowie aus der Energiebranche (Bergbau, Öl usw.) halten sich wohl deshalb noch zurück, weil es für sie derzeit schnell zu einem PR-Desaster werden könnte.

54 Teller (15.1.1908 bis 9.9.2003) wird als Vorbild für Stanley Kubricks «Dr. Seltsam» gesehen und erhielt 2002 von Präsident Bush jr. noch die Medal of Freedom für seine Verdienste.

55 Herauszuheben sind dabei das Projekt «Plowshare», bei dem man der Atomtechnologie gewissermaßen eine neue Relevanz geben wollte, und das Project «Chariot», bei dem mit Atombomben ein Hafenbecken künstlich angelegt werden sollte.

56 Dieses 1952 gegründete Zentrum war im Kalten Krieg die militärische Denkwerkstatt der USA und beschäftigt sich neben Waffenentwicklung auch mit Energiefragen (CCS, Kohle-zu-Gas), Lasertechnik und superschnellen Computern (mehr: <https://www.llnl.gov/>).

57 Dieser besagt, dass Effizienzgewinne (z.B. am Verbrennungsmotor) durch Veränderungen im Konsum bzw. Verhalten (größere Autos, mehr Fahrten) wieder kompensiert werden.

Land man überfällt» (in Goodell 2010: 162). Dennoch entwickelt er mit seiner Firma Carbon Engineering⁵⁸ Großtechnologien zur CO₂-Gewinnung aus der Umgebungsluft (Air Capture). Er verspricht, die Einnahmen aus Patentzahlungen komplett zu spenden, da es ihm nicht um Profite geht. Sein Kollege, der ehemalige Friedensaktivist Ken Caldeira (Stanford University), hat sich einen Namen mit der Erforschung der Versauerung der Meere gemacht und war bis vor kurzem Autor des nächsten IPCC-Berichtes.⁵⁹ Er legte dieses Amt nieder, weil er «effektivere Wege» sieht (siehe Revkin 2011). Gemeinsam mit Keith lud er zu einer prominenten «Dinner-Debatte» zu Geo-Engineering ein. Dort diskutierte man dann auch nicht über Fragen wie «Können wir es?» oder «Sollten wir es?», sondern «Wie machen wir es?» (s. Goodell 2010: 111).

«Die Öko-Clique wirbt für riesige Finanzspritzen aus öffentlichen Geldern für die Forschung zum Geo-Engineering. Sie dominieren nahezu jede Befragung zu dieser Forschung. Sie sind in fast allen Expertenrunden präsent. Sie waren die führenden Berater für Parlaments- und Kongressanhörungen, und ihre Ansichten werden, mit aller Wahrscheinlichkeit, die Überlegungen des UN-Klimarates (IPCC) dominieren, der sich gerade erstmals mit dem wissenschaftlichen und ethischen Gewirr auseinandersetzt.»

Prof. Clive Hamilton, Australian National University,
in: Vidal 2012, Übersetzung d. A.

Alte Bekannte

Viel Geld kommt u.a. aus der Tasche des ehemaligen Microsoft-Bosses Bill Gates, dessen «Bill & Melinda Gates Foundation» gegen Krankheit, Hunger und Armut vorgehen möchte. Doch die Zeit rennt der Menschheit gerade beim Klimawandel davon: «In der Welt der Energie braucht Innovation 15 Jahre, der Einsatz nochmal 20 Jahre. Wenn Dir also etwas wie Geo-Engineering 20 oder 30 Jahre kaufen kann, dann ist das vielleicht eine gute Sache» (Bill Gates, in: Goodell 2010: 114, Übersetzung d. A.)

Konsequenterweise gab er bisher 4,6 Millionen Dollar seines Privatvermögens an Keith und Caldeira. Beide verteilten es dem *Guardian* zufolge weiter an Gleichgesinnte für z.B. Reisekosten (Vidal 2012). Gates ist auch Teilhaber an Keiths Firma und unterstützte die Arbeiten anderer relevanter Forscher (z.B. der Royal Society zu SRM oder des Bipartisan Center) finanziell (ebd.). Bisher laufen diese Förderungen aber größtenteils noch unter dem Radar der Öffentlichkeit. Man stelle sich nur vor, was wäre, wenn statt des schüchternen Gates der verstorbene Apple-Chef Steve Jobs sich für eine GE-Technologie ausgesprochen hätte. Personell stehen sie alle der Firma

⁵⁸ <http://www.carbonengineering.com/>

⁵⁹ Die weiteren Mitglieder der «Scientific Steering Group» des IPCC-Reports sind ebenfalls Befürworter: David Keith, David Victor, Nicolas Gruber und Jason Blackstock.

Intellectual Ventures (IV)⁶⁰ nahe. Diese hat sich auf das Aufkaufen und Lizenzieren von Patenten (z.B. an Apple oder Google) spezialisiert. An diesem «hot spot» der technischen Innovation wird u.a. zu neuen Atomreaktoren geforscht, und ihr Selbstverständnis tut Politik als Gerede ab.

Als weniger technokratischer Gegenpart könnte der Carbon War Room von Sir Richard Branson gesehen werden. Er wird von Personen mit Hintergründen unterstützt u.a. vom Weltwirtschaftsforum, McKinsey, Bransons Firma Virgin, verschiedenen Investmentgesellschaften und dem US-Militär. Die Gruppe macht sich stark für «Klimainterventionen», denn «[w]enn wir mit Geo-Engineering dieses Problem beantworten können, dann wäre Kopenhagen nicht nötig. Wir würden weiter unsere Flugzeuge fliegen und unsere Autos fahren» (Richard Branson, Besitzer einer Fluggesellschaft, in: Revkin 2009, Übersetzung d. A.).

Auch die Ultrakonservativen in den USA spielen seit Jahren mit.⁶¹ Die Köpfe rechter Think Tanks⁶² bezweifeln die Existenz des Klimawandels, unterstützen aber Geo-Engineering (s. Hamilton 2011, ETC Group 2011). Newt Gingrich, Führer der Rechten in den 1990er Jahren und eine Zeitlang Bewerber um die Republikanische Präsidentschaftskandidatur 2012, sagte, dass dank Geo-Engineering endlich «die Sorgen über die globale Erwärmung mit ein paar Milliarden Dollar» erledigt werden können, «ohne normale Amerikaner zu bestrafen» (Hamilton 2011).

Aber auch in Obamas Energieministerium arbeitet mit Steven Koonin (zuvor bei BP) als zweitem Unterstaatssekretär ein Befürworter von Geo-Engineering. Deutlich wird die Verschachtelung der Interessen beim kanadischen Teersand⁶³-Magnaten Murray Edwards, der sein Geld in positive Berichterstattung steckt: Durch Teersande entsteht nämlich nicht nur viel CO₂, sondern auch Schwefel, das praktischerweise als Aerosol-Sprühung nützlich sein könnte.

Man muss feststellen: Geo-Engineering ist heute so eng mit einer Handvoll von Unternehmen verbunden, dass ein Einsatz bedeutete, dass auf Grund von Patenten «[...] Entscheidungen über die Klima-Allgemeingüter effektiv dem Privatsektor übergeben werden» (ETC Group 2011).

⁶⁰ Wer offen dahinter steht, ist hier zu sehen: <http://www.intellectualventures.com/WhoWeAre/Inventors.aspx?id=61a71154-7e35-4cd4-8cc9-1f2cd69baa5b>

⁶¹ Schon kurz nach der Abkehr vom Kyoto-Protokoll 2001 berief das Energieministerium unter Präsident Bush eine Expertenrunde zu Geo-Engineering ein, deren Bericht jedoch niemals das Licht der Welt erblickte.

⁶² Heartland Institute, Cato Institute, Competitive Enterprise Institute, Hoover Institute, Thomas Jefferson Institute, Hudson Institute, International Policy Network und American Enterprise Institute.

⁶³ Die sogenannten «tar sands» werden v.a. in der kanadischen Provinz Alberta abgebaut.

5 Wie frei kann freie Wissenschaft sein?

«Kunst und Wissenschaft, Forschung und Lehre sind frei.»

Artikel 5, Abs. 3, Satz 1 des Grundgesetzes

Forschung muss frei sein. Frei von staatlicher Gängelung, frei von Profitinteressen und frei von falschen Dogmen. Zugleich muss sie sich innerhalb des legalen Rahmens und eines ethischen Konsenses bewegen, der von Ethikkommissionen, der Zivilgesellschaft und durch freiwillige Selbstverpflichtungen der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler abgesteckt wird. Letztere treffen auch untereinander freiwillige Vereinbarungen, so auf der Asilomar-Konferenz 2010 zu «Climate Intervention» – ein «Woodstock» für Geo-Engineering, so der kritische Blogger Joe Romm (2010). Schon 35 Jahre zuvor, bei der ersten Asilomar-Konferenz zur DNA-Rekombinationstechnik⁶⁴, ging es eher um eine Beruhigung der Öffentlichkeit. Hauptsponsor 2010 war der australische Bundesstaat Victoria.⁶⁵ Ist es Zufall, dass ausgerechnet hier 85% der Energie aus Braunkohle gewonnen werden? Zumindest ein kritischer Blick muss bei solchen Details erlaubt sein, was nicht bedeutet, dass es nicht auch kritische Stimmen aus der Forschung selbst gibt.⁶⁶

Natürlich kann die Wissenschaft nur frei forschen, wenn sie genügend Geld bekommt. Ein besonders einflussreicher Sponsor ist der militärisch-industrielle Komplex. So weiß die Forschung selbst am besten, dass dieser Sektor vielen Geo-Engineering-Anforderungen entspricht: Es gibt dort Geld, Erfahrung mit großen Luft- und Meeresprojekten und das schwere Gerät hierfür, z.B. die für Messungen wertvollen Satelliten. Diese Partner verlangen jedoch oft Heimlichkeit, Exklusivität und militärische Relevanz von den unterstützten Projekten. Dies steht im Gegensatz zum Postulat der freien und transparenten Forschung.

⁶⁴ Diese umfasst «sämtliche Methoden, die zur Konstruktion und Untersuchung von rekombinierter DNA und deren Einsatz erforderlich sind. In ihrem Mittelpunkt steht die DNA-Klonierung»(s. www.wissenschaft-online.de).

⁶⁵ Weitere Partner waren jedoch u.a. auch der Environmental Defense Fund und die Royal Society.

⁶⁶ «We will need to protect ourselves from vested interests [and] be sure that choices are not influenced by parties who might make significant amounts of money through a choice to modify climate, especially using proprietary intellectual property» (Jane Long, director at large for the Lawrence Livermore National Laboratory, im *Guardian* vom 6.2.2012)

Eines der stärksten Argumente für mehr Forschung zu Geo-Engineering, v.a. SRM, ist die Überzeugung, dass Gefahren nur vorgebeugt werden kann, wenn wir genug darüber wissen. Doch es gibt Beispiele, die nahelegen, dass Forschung und Anwendung auch bei längst bekannten Risiken und Nebenwirkungen weitergehen: So ist bekannt und nachgewiesen, dass die Biodiversität unter der grünen Gentechnik leidet und benachbarte, nicht genetisch veränderte Felder von den fremden Pollen befallen und kontaminiert werden – mit verheerenden Folgen für Natur und Menschen. Hier hat sich gezeigt, dass statt freier Wissenschaft Wissen für Konzerne geschaffen wurde.

Collingridge-Dilemma

Der britische Technikforscher David Collingridge prägte das auch «Steuerungs- oder Kontrolldilemma» genannte Problem: Die Wirkungen einer Technik können vor ihrer Entwicklung bzw. vor ihrem Einsatz nicht voll überblickt werden (Informationsproblem); außerdem ist eine – v.a. ökonomisch – verwurzelte Technik schwerer zu kontrollieren oder zu gestalten (Machtproblem). Wenn es um eine unnötige und mehrheitlich abgelehnte Technik geht, z.B. biologische Waffen, kann sie von vornherein streng reguliert werden. Wenn Geo-Engineering aber notwendig wäre, um die Folgen des Klimawandels abzubremesen, dann ist ein «Abwürgen» der Forschung hochproblematisch. Collingridge propagierte daher eine umfangreiche Technikfolgenabschätzung. In Europa gibt es hierfür eine European Technology Assessment Group; und in den USA existierte bis 1995 die Office of Technology Assessment; dem Deutschen Bundestag ist seit 1990 ein zwölfköpfiges Büro für Technikfolgenabschätzung zugeordnet.

Weil der Einsatz der Geo-Engineering-Technologie besondere Dilemmata andeutet, wird – so scheint es – der Diskurs zur Freiheit der Forschung hin verschoben: «Ich bin kein Befürworter von Geo-Engineering per se – aber von dessen Erforschung», ist oft zu hören und erntet sehr viel leichter Zustimmung. Von gewisser Relevanz ist natürlich auch die Größe der Versuche: Wird nach gescheiterten Experimenten immer ein neues, größeres gefordert (wie bei der Ozeandüngung)? Oder geht es bei Geo-Engineering nur «ganz oder gar nicht»? Selbst Paul Crutzen u.a. sehen im «normalen» Klimaschutz, also der Reduktion unserer Treibhausgasemissionen⁶⁷, die erste logische Antwort auf das Klimaproblem.

⁶⁷ Der Schluss seines wegweisenden Essays (2006) lautet: «Finally, I repeat: the very best would be if emissions of the greenhouse gases could be reduced so much that the stratospheric sulfur release experiment would not need to take place. Currently, this looks like a pious wish.»

Tabelle 5: Schritte der Geo-Engineering-Forschung

Phase	Beschreibung	Herausforderungen	Status
Theorie und Modellierung	Publikationen und Computermodelle befassen sich mit den erwarteten Klimawirkungen.	Internationale Kooperation, Finanzierung der Forschung und Entwicklung von komplexeren Modellen	Sowohl für SRM als auch CDR wurde vor über 20 Jahren mit Studien begonnen.
Technologieentwicklung	Designs und Laborentwicklungen	Erste Governance-Fragen sowie es zu Patenten oder Klassifizierungen kommt: Wer hat Zugang? Wer kontrolliert?	Besonders CDR-Technologien sind gerade in diesem Stadium.
Kleine Feldversuche	Machbarkeitstests mit geringen oder vernachlässigbaren Nebenwirkungen	Risiken und Modellunsicherheiten müssen bewertet werden.	Kleine Tests in Bezug auf Aerosolsprühung und Ozeandüngung fanden bereits statt.
Große Feldversuche	Die Klimawirkung durch Experimente, die kleiner als der volle Einsatz sind, wird getestet. Es gibt bereits Nebenwirkungen.	Herausforderungen für Umwelt und Governance treten nun ungleich verteilt auf.	Bisher gibt es noch keine großen Feldversuche.

Quelle: nach UNESCO-SCOPE-UNEP 2011

Doch leider ist die Welt zu komplex, als dass Forschung an so fundamentalen Alternativen wie dem Geo-Engineering einfach möglich wäre. Es ist daher ehrlich und notwendig, wenn sich neben Politik und Gesellschaft auch die Wissenschaft zu den Risiken und den Interessen bekennt, da nur durch Transparenz das nötige Vertrauen in Forschungsergebnisse möglich ist. Aber da die heutige Wissenschaft für 99 % der Bevölkerung nicht mehr intellektuell zugänglich ist, wird eine natürliche «Kontrolle durch Transparenz» unmöglich. Der Austausch von Wissenschaft und Gesellschaft wird zusehends schwieriger. Das wird u.a. in der Diskussion um angebliche Fehler beim IPCC deutlich: Unverständnis kann zu Misstrauen und Desinteresse führen. Daher muss die Gesellschaft mit auf die Reise in Theorie, Modellierung und ggf. Erprobung von Geo-Engineering genommen werden. Die Entscheidung, ob und wie die Öffentlichkeit vom Stand der Dinge in diesem Forschungsfeld erfährt, darf keinesfalls von einer strategischen Überlegung – sei es für oder gegen Geo-Engineering – geleitet werden, sondern ist ein Selbstzweck.





Die Bewertung von neuen Technologien institutionalisieren

Um das Cassandra-Problem der frühen Warnung ohne frühes Gehör zu lösen, schlägt die ETC Group (2012) eine UN-Technologienevaluationskonvention (International Convention for the Evaluation of New Technologies, ICENT) vor. Hier sollen ähnlich wie beim Weltklimarat zu verschiedenen Unterthemen Wissen um Chancen und Risiken neuer Technologien zusammengetragen und dabei auch mögliche Betroffene angehört werden. Ein Fokus soll auf regionale Risikoanalysen und Technologietransfer liegen. Die Zivilgesellschaft muss diesen zwischenstaatlichen Apparat zudem kontrollieren. Bis alle diese Strukturen institutionalisiert sind, muss es z.B. für das Geo-Engineering strikte Moratorien geben.

6 Eine Frage der Ethik?

Eine Umgestaltung des Erdklimas lässt sich auf Grund der Schwere des Eingriffes nicht ohne explizite Beachtung ethischer Aspekte ins Auge fassen. Es stellen sich einige Fragen, zum Beispiel: Steht hinter dem Drang zum Geo-Engineering ein radikaler Anthropozentrismus, der nach der Entschlüsselung der Genome und dem Kartographieren des Weltalls nun das synthetische Klima produzieren will? Oder muss dem Klimawandel aus Notwehr vielmehr alles – und daher gerade die Fähigkeit des Menschen, seine Umwelt zu formen – entgegengesetzt werden?

Doch sowohl Selbstüberschätzung als auch pure Not können riskante Folgen haben. Unterschiedliche Motivationen führen dabei oft auch zu unterschiedlichen Strategien.

Es geht zum einen darum, wie die Vorteile und Nachteile von Eingriffen verteilt sind (Verteilungsgerechtigkeit); zum anderen um die Frage, wer über den Einsatz einer Technologie entscheidet (Verfahrensgerechtigkeit).

Angenommen, die Erde würde gekühlt werden, ohne Nachteile wie veränderte Monsunregen, Versalzung der Ozeane oder ähnliches. Obwohl es durch ein ungerechtes, heikles Verfahren zustande kam, würde dies wohl nur wenige stören. Schwieriger wird es schon, wenn die Nachteile sich auf Dinge wie Biodiversität oder den Salzgehalt des Ozeans auswirkten und die Menschen keine (sofortigen) konkreten Nebenwirkungen zu spüren bekämen. (Allerdings ist die Beziehung von solch vermeintlich irrelevanten Naturfaktoren und den Menschen heute relativ gut erforscht, so dass dieser Eingriff auch als Angriff auf den Menschen verstanden würde.) Realistischerweise muss aber von ungleich verteilten negativen Folgen eines menschlichen Eingriffs ausgegangen werden, die dann gegenüber den Vorteilen (für alle und für die Betroffenen speziell) abgewogen werden müssten. Es würden daher sicherlich Kompensationsmechanismen nötig werden. Die Verhinderung oder Reduzierung katastrophaler klimatischer Veränderungen ist natürlich erheblich von Gewicht.⁶⁸ Bei oberflächiger Betrachtung könnte dies bedeuten: Je stärker die Klimarisiken ausgemalt würden,⁶⁹ desto ethisch vertretbarer erschiene auch das Geo-Engineering. Dem ist erst einmal wenig entgegenzusetzen, wäre es doch ebenso höchst unmoralisch, die Risiken eines ungebremsen Klimawandels herunterzuspielen. Schlussendlich wissen wir aber nicht ganz genau, wie schnell und wie schlimm der Klimawandel werden wird. Ebenso problematisch: Die positiven und negativen Nebenwirkungen

68 Prof. Stephen Salter mailte dazu am 13.4.2012: «The imbalance is what we have got now and what will get worse if we do nothing.»

69 Dies geschieht u.a. durch den zusätzlichen konstanten Verweis auf die Impotenz der internationalen Klimaverhandlungen.

von Geo-Engineering sind ohne großflächigen Einsatz nur schwer abzuschätzen. Das Dilemma erinnert an die Debatte über den gezielten Abschuss von Flugzeugen, die sich in der Hand von Terroristinnen und Terroristen befinden: Sollte man wenige opfern, um viele zu retten?

Zudem besteht nach wie vor die Gefahr, dass es zu einem «moral hazard» (s.o.) kommt. Befürworter von Geo-Engineering sind der Ansicht, dass dieses ethische Dilemma nicht als Gegenargument gelten dürfe, schließlich würde auch keiner Airbags ablehnen, obwohl diese zu höheren Geschwindigkeiten verleiten könnten.

Selbst wenn die Fragen zum Geo-Engineering schlussendlich politisch – und nicht rein wissenschaftlich – beantwortet werden müssen, folgt daraus keinesfalls, dass wir die Wissenschaft nicht bräuchten. Vielmehr scheint es (abgesehen von theologischen Einwänden) gerade ethisch notwendig, mögliche Lösungen auf Nebenwirkungen hin zu untersuchen. Schon jetzt wissen wir einiges, was uns bei der Anwendung von Geo-Engineering vor ein Gerechtigkeitsdilemma stellen dürfte. So bestätigte z.B. eine Studie für das Forschungsministerium (BMBF 2011) folgende Vermutung: Je riskanter eine Technik – z.B. die Sprühung von Sulfataerosolen – ist, desto leichter ist sie unilateral einzusetzen. Gleichzeitig bilden sie die größte Gefahr für den UNFCCC-Prozess und würden am meisten politische Verwerfungen hervorrufen. Zudem stellt sich das grundsätzliche Problem, dass es bestehende Diskurse und Hegemonien gibt, die keine rein objektive Abwägung von Fakten zulassen.

«Ich kann nicht glauben, dass Regierungen, die nicht die Intelligenz oder Integrität haben, ihren eigenen Bevölkerungen zu sagen, dass es ein Problem mit dem Klima gibt, [...] wirklich die Integrität und Intelligenz haben, den Planeten auf sichere Weise umzubauen. Das ist lächerlich.»

Pat Mooney 2010, Übersetzung d. A.

Tabelle 6: Typologie der Climate-Engineering-Technologien hinsichtlich des Ausmaßes ihrer sozialen und politischen Folgen bei einem unilateralen Einsatz

	Unerwünschte Nebenfolgen bleiben tendenziell lokal begrenzt	Unerwünschte Nebenfolgen sind tendenziell global
Staatsfreie Räume	Ozeandüngung Beschleunigung der natürlichen Verwitterung im Ozean	Weltraumreflektoren Stratosphärische Aerosole Marine Wolkenmodifikation Zirruswolkenmodifikation Biokohle Air Capture
Staatliches Territorium	Air Capture Beschleunigung der natürlichen Verwitterung an Land Erhöhung der Rückstrahlung von Hausdächern Biokohleherstellung Dezentrale Aufforstung	Großskalige Aufforstung Modifikation von Wüsten

Quelle: nach BMBF 2011

7 Fazit

Derzeit ist das allgemeine Interesse am Thema Geo-Engineering noch gering, doch der rapide Anstieg an entsprechenden Fachpublikationen, Gutachten und Meinungsartikeln lässt mehr erwarten. Zwar gibt es viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die den enormen Aufwand für das Geo-Engineering befürworten, aber die vorherrschende Skepsis in Deutschland dürfte eine breitere Debatte auslösen.

Eine globale Übereinkunft über das Geo-Engineering kann und muss möglich sein. Das allerdings nur, wenn sich alle Staaten darüber einig werden, dass eine koordinierte Vorgehensweise nötig ist. Dazu wurde mit den 2011 erarbeiteten «Oxford-Prinzipien»⁷⁰ schon eine gewisse Vorarbeit geleistet. Die ersten vier der nun folgenden acht vom Autor erarbeiteten Leitgedanken stützen sich folglich auf diese Prinzipien. Eine erste Absichtserklärung zur Einhegung von Geo-Engineering könnte so aussehen:

- (1) *Governance-Fragen müssen stets vor einem Einsatz geklärt werden.* Selbst Wissenschaftler, die ein globales Klimaabkommen nicht für nötig erachten, fordern eine internationale Übereinkunft. Allerdings könnte dies politisch kompliziert werden, da sich v.a. die USA schwer einbinden lassen (siehe CBD-Vertrag). So empfehlen einige nordamerikanische Expertinnen und Experten bereits jetzt, dass «praktischerweise ein weniger formaler Prozess sichtbar produktiver wäre als formale, multilaterale Verhandlungen» (BPC 2011). Andere meinen, ein Rechtsrahmen wäre wahrscheinlicher als eine Übereinkunft über juristische Rechtsansprüche. Denn Geo-Engineering ist ja eine gewollte Veränderung, und mit Intentionen kommen vor allem: Rechtsklagen.
- (2) *Unabhängige Prüfungen sind unerlässlich.* Es ist fraglich, ob der wissenschaftliche Peer-Review-Prozess⁷¹ dazu alleine taugt. Bis zum Jahr 1993 gab es bei der UN ein Zentrum für Technikfolgenabschätzung, bis 1995 gab es so etwas in den USA.⁷²

⁷⁰ Diese, von einem an Geo-Engineering interessierten transdisziplinären Forscherteam aufgestellten Prinzipien sind hier online: <http://www.geoengineering.ox.ac.uk/oxford-principles/history/>

⁷¹ Auch «Kreuzgutachten». Dabei werden i.d.R. wissenschaftliche Publikationen vor ihrer Veröffentlichung von Gutachtern aus dem gleichen Themengebiet anonym geprüft.

⁷² Nach starker Lobbyarbeit wurde das UN Centre for Science and Technology for Development (UNCSTD) sowie das mit Konzernen befasste UN Centre on Transnational Corporations (UNCTC) 1993 dichtgemacht. In den USA führte der politische Rechtsruck 1995 ebenfalls zur Schließung des Office of Technology Assessment (s. ETC 2010).

Zu recht fordert daher die ETC Group (2011) eine Internationale Konvention zur Bewertung neuer Technologien (siehe Kasten Seite 48). Die Royal Society plädiert ebenfalls für die prüfende Suche nach möglichst risikoarmen Technologien, und dem Weißen Haus wird empfohlen, eine transdisziplinäre Kommission aus – nicht nur – Naturwissenschaftlern dafür auszubilden (BPC 2011).

- (3) *Es bedarf öffentlicher Beteiligung bei Entscheidungen über Geo-Engineering.* Experimente müssen immer nach vorhergehender Information und in freier Übereinkunft mit der lokalen Bevölkerung und allen möglicherweise von den Folgen signifikant beeinflussten Menschen erfolgen. Um auch den Natursystemen eine Stimme zu geben, bedarf es stets auch der Beteiligung von entsprechenden Umweltverbänden.
- (4) *Die Forschung muss transparent, und die Ergebnisse müssen zugänglich sein.* Dazu bedarf es einer klaren Strategie für die Forschung (s. GAO 2010), Vorsicht vor privaten oder verteidigungspolitischen Interessen und einer ehrlichen Übersetzung der Chancen und Risiken in die breitere Öffentlichkeit.
- (5) *Geo-Engineering darf nicht von wirtschaftlichen Profitinteressen gelenkt werden.* Da es hierbei um eine so grundsätzliche Sache geht, muss dieses Feld von den Unwägbarkeiten des freien Marktes geschützt werden. Innovationen und Investitionen lassen sich ebenso von staatlicher Seite aus anregen – und doch gerade dann, wenn es um nicht weniger als die «Rettung der Welt» gehen soll. Während es Forschung zu Chancen und Risiken auch im privaten Sektor geben darf, kann die ausschließliche Kontrolle über den Einsatz nur bei demokratisch gewählten Regierungen und der Weltgemeinschaft liegen. Das bedeutet z.B. konkret, dass SRM und CDR nicht für den Kohlenstoffmarkt zugelassen werden dürfen (s. Olson 2011).
- (6) *Ein international bindendes Moratorium auf Einsatz und Experimente entlang der Richtlinien der Biodiversitätskonvention (CBD) ist notwendig.* Diese besagen, dass Geo-Engineering-Aktivitäten erst dann stattfinden dürfen, wenn es einen «wissenschaftsbasierten, globalen, effektiven und transparenten Kontroll- und Regulierungsmechanismus» gibt, wenn dem Vorsorgeprinzip⁷³ Rechnung getragen wird, wenn die Wissenschaft den Einsatz von Geo-Engineering rechtfertigt und wenn Umwelt-, Biodiversitäts-, soziale, wirtschaftliche und kulturelle

73 Nach der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung (UNCED) 1992 in Rio wird dieses wie folgt konkretisiert: «Angesichts der Gefahr irreversibler Umweltschäden soll ein Mangel an vollständiger wissenschaftlicher Gewissheit nicht als Entschuldigung dafür dienen, Maßnahmen hinauszuzögern, die in sich selbst gerechtfertigt sind. Bei Maßnahmen, die sich auf komplexe Systeme beziehen, die noch nicht voll verstanden worden sind und bei denen die Folgewirkungen von Störungen noch nicht vorausgesagt werden können, könnte der Vorsorgeansatz als Ausgangsbasis dienen.» (Kapitel 35 Absatz 3 der Agenda 21). Die CBD (2012) hält jedoch fest, dass der rechtliche Status dieses Ansatzes noch unklar ist.

Effekte bedacht wurden. Auch John Shepherd, Vorsitzender des Royal-Society-Berichts, empfiehlt ein Moratorium (Pearce 2010). Explizite Ausnahme wären nur kleine Experimente und Modellierungen. Was jedoch «klein» bedeutet, muss noch ausgehandelt werden.

- (7) *Internationale Kooperation bei der Forschung ist ebenso notwendig.* Nur so – entlang dieser acht Punkte – kann ein «Wettrüsten» vermieden werden. Dabei muss es unterschiedliche Verabredungen für die Technologie geben. Die Zivilgesellschaft muss ein gleichberechtigter Teil dieses Prozesses sein, und dennoch soll die Freiheit der Forschung nicht angetastet werden. Jedoch birgt Geo-Engineering in seinen Extremen solch destruktives Potenzial, dass Feldforschung vielleicht sogar nur unter UN-Aufsicht zu erlauben wäre, da sonst eine «Allianz der Willigen» nassforsch vorangehen könnte.⁷⁴ Da auch kulturelle Faktoren Einfluss darauf ausüben, wie ein Mensch sich in seiner Umwelt positioniert,⁷⁵ ist eine möglichst breite Übereinkunft über Geo-Engineering das einzig Richtige – aber auch umso schwerer.
- (8) *Der beste Klimaschutz heißt CO₂-Vermeidung.* Auch hier ist sich die große Mehrheit in Politik, Wissenschaft und Gesellschaft einig: Die UNFCCC darf durch eine Verabredung zu Geo-Eningeering nicht geschwächt, und Ressourcen müssen primär in die Transformation der Wirtschaft und Gesellschaft geleitet werden.

Tabelle 7: Politikszenerarien

Politikszenerarien	
Szenario A	Es wir kein Geo-Engineering geben.
Szenario B	Nur CDR-Technologien mit geringen und bekannten Nebenwirkungen werden als Ergänzung zu Mitigationsbemühungen zum Einsatz kommen.
Szenario C	Ein neuer Schwung in Forschung und Investitionen bringt Technologiedurchbrüche, welche SRM unnötig machen.
Szenario D	Geo-Engineering-Technologien, einschließlich SRM, werden erforscht, um sie im Notfall bereit zu haben.
Szenario E	Es wird zeitnah zum Einsatz von SRM-Technologien kommen müssen, um einem Klima-Notfall begegnen zu können.
Szenario F	Alle Geo-Engineering-Technologien werden eingesetzt.

Quelle: nach Olson 2011

⁷⁴ Genau dies wird der US-Regierung von der Bipartisan Group (2011) explizit empfohlen.

⁷⁵ In traditionelleren Gesellschaften der südlichen Hemisphäre, aber auch in vielen Ländern Europas wird Geo-Engineering wohl eher als Anmaßung empfunden. Dagegen gehen techniko-orientierte Gesellschaften wie die USA oder das Prä-Fukushima-Japan damit sehr viel neugieriger und offener um.

Um sich adäquat mit Geo-Engineering beschäftigen zu können, haben sich alle, v.a. Journalist/innen, Politiker/innen und Wissenschaftler/innen, mit grundlegenden Fragen zu beschäftigen. Sie müssen sich dem Umfeld, in dem sie wirken, bewusst sein, und sich fragen, wie der aktuelle Diskurs zu Geo-Engineering dort verläuft und wie sie diesen beeinflussen. Zugleich sollte es eine Steigerung der Sensibilisierung gegenüber ethischen Aspekten geben. Dabei dürfen wir uns auch nicht vor angeblich «irrationalen» Fragen scheuen: Was bedeutet uns dieser «Blaue Planet»? Ist er nur eine Ansammlung an Mineralien und ein Platz, wo Menschen schalten und walten können? Oder ist er eher ein zerbrechlicher Ort des Lebens in einem kalten, leeren Universum? Hat der Mensch überhaupt das Recht zu entscheiden, wie wir unseren Planeten verändern?

Einige weitere Fragen, die es zu beantworten gilt, sind die folgenden:

- Inwiefern werden neue Probleme auf zukünftige Generationen abgewälzt? (Generationengerechtigkeit)
- Wer entscheidet, wann zu Plan B übergegangen wird? (Verfahrensgerechtigkeit)
- Können auch Menschen, welche direkte Nachteile erfahren würden, von dieser Option überzeugt werden (Utilitarismus-Argument)?⁷⁶
- Wie soll mit sich verstärkenden globalen Ungleichheiten als Folge eines Einsatzes umgegangen werden? (Gerechtigkeits-Dilemma)
- Könnten profitorientierte oder verteidigungspolitische Interessen den Willen der Mehrheit bei Entscheidungen überlagern? (Hegemonie-Problem)

Natürlich muss zudem immer noch eine Reihe praktischer Fragen beantwortet werden; die wichtigsten beinhaltet folgende Aufzählung:

- Wie kann trotz Geo-Engineering eine ambitionierte Mitigations-Politik forciert werden? Wie kann eine Rückkehr zu Plan A (Mitigation) organisiert werden?
- Welche Auswirkungen ergeben sich dann für die eigentlichen Zieltechnologien (erneuerbare Energien, Effizienztechnologien)?
- Wie kann ein internationales Abkommen aussehen, und wie wäre ein Moratorium durchzusetzen? Wie können private Interessen ausreichend kontrolliert werden, und wie sollte ausreichende Transparenz und öffentliche Partizipation organisiert werden?
- Wie können Technologien und ihre Risiken und Potenziale weiter erforscht werden, ohne damit eine Vorentscheidung in Bezug auf die Anwendung zu treffen? Wo ist der Übergang von Forschung zum Einsatz?
- Wer haftet für Risiken und Nebenwirkungen?

76 Ken Caldeira drückt die Frage so aus: Darf «man einen Sturm wie Katrina, der in New Orleans über 1.800 Menschen das Leben gekostet hat, in eine ländliche Region in Mississippi umlenken [...] wo er vielleicht achtzehn Menschen tötet?» (Neon 2011).

Vielleicht muss auch die Klassifikation der Optionen noch genauer erfolgen. CDR kann als eine nicht-nachhaltige Extremform der Emissionsvermeidung angesehen werden, da es CO₂ zwar am Eindringen in die Atmosphäre hindert, aber weiterhin nicht-erneuerbare Ressourcen nutzt und es Nebeneffekte gibt. Folglich wäre SRM die nicht-nachhaltige Extremform der Klimaanpassung, weil es zwar nur die Folgen bekämpft, aber im Gegensatz zu klassischen Adaptionsprojekten keinen zusätzlichen sozialen und wirtschaftlichen Nutzen bringt. Schlussfolgernd wäre Geo-Engineering die Extremform von nicht-nachhaltiger Klimapolitik. Ob es aber dennoch nötig ist, darüber muss nun in einem breiten gesellschaftlichen Diskurs befunden werden. Es gibt nämlich keinen Knopf am Planeten, auf dem «Neustart» steht.

GLOSSAR

ADAPTATION	(auch Adaption) Anpassung an den Klimawandel
AEROSOL	Ein Aerosol ist ein Gemisch aus festen oder flüssigen Teilchen und einem Gas. Die Schwebeteilchen heißen Aerosolpartikel oder Aerosolteilchen. (Wikipedia)
AIR CAPTURE	Bezeichnung für eine Technologie, mit der CO ₂ direkt aus der Luft abgeschieden werden kann.
BMBF	Bundeministerium für Bildung und Forschung
BECCS	Bio-Energie mit CCS
CBD	Convention on Biodiversity (die UN-Konvention zum Schutze der Biodiversität)
CCS	Carbon Capture and Storage (CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung)
CDR	Carbon Dioxide Removal (CO ₂ -Beseitigung)
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency (Agentur für Verteidigungstechnologien des Pentagons)
ENMOD	UN Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques (Umweltkriegsübereinkommen)
GHG	Greenhouse Gases (Treibhausgase wie CO ₂)
GOVERNANCE	Unscharfer Begriff, welcher die Regierungsform oder das Regelungssystem v.a. politischer Einheiten wie Staaten umfasst.
MITIGATION	Vermeidung von CO ₂ -Emissionen
SRM	Solar Radiation Management (Beeinflussung der Sonneneinstrahlung)
UNEP	United Nations Environment Programme (UN-Umweltprogramm)
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change (UN Klimarahmenkonvention)
US-DOE	US Department of Energy (Energeministerium der USA)

LITERATUR

- ADAMS, Tim (2010): «Ich glaube, wir sind Schöpfer», in: *der Freitag*, online unter: <http://www.freitag.de/wissen/1042-ich-glaube-dass-wir-schoepfer-sind>
- BART, Gordon (2010): «Engineering the Climate: Research Needs and Strategies for International Coordination», Report for the Committee on Science and Technology of the Congress of the United States of America, Washington, D.C., online unter: <http://www.who.edu/fileserver.do?id=74967&pt=2&p=81828> (zuletzt am 17.4.2012)
- BPC – BIPARTISAN POLICY CENTER (2011): Geo-Engineering A national strategic plan for research on the potential effectiveness, feasibility, and consequences of climate remediation technologies, online unter: <http://www.bipartisanpolicy.org/sites/default/files/BPC%20Climate%20Remediation%20Final%20Report.pdf> (zuletzt am 15.4.2012)
- BLACKSTOCK, Jason et al. (2009): «Climate Engineering Responses to Climate Emergencies», online unter: <http://arxiv.org/pdf/0907.5140.pdf> (zuletzt am 15.4.2012)
- BLACKSTOCK, Jason/LONG, J.C.S. (2010): «The politics of geoengineering», in: *Science* 327 (5965), S. 527
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (2011): «Gezielte Eingriffe in das Klima? Eine Bestandsaufnahme der Debatte zu Climate Engineering», Studie des Kiel Earth Institutes, online unter: http://www.bmbf.de/pubRD/CE_Studie2011-Gesamt-final-Druck.pdf (zuletzt am 15.02.2012)
- CHISHOLM, Sallie et al. (2001): «Dis-Crediting Ocean Fertilization», in: *Science* 294, (5541), S. 309f
- CBD – UN-Convention on Biodiversity (2012): Regulatory Framework for Climate-Related Geoengineering Relevant to the Convention on Biological Diversity, online unter: <http://www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-16/information/sbstta-16-inf-29-en.pdf> (zuletzt am 15.04.2012)
- CRUTZEN, Paul (2006): «Albedo Enhancement by Stratospheric Sulfur Injections: A Contribution to Resolve a Policy Dilemma?», in *Climate Change*, Nr. 77, online unter: <http://www.springerlink.com/content/t1vn75m458373h63/fulltext.pdf>
- EILPERIN, Juliet (2009): «Danish Think Tank Calls to Focus on Geoengineering Solutions to Global Warming», in: *Washington Post*, am 4.9.2009, online unter: <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2009/09/03/AR2009090303723.html> (zuletzt am 17.4.2012)
- ETC Group (2009): «Open Letter Opposing Asilomar Geoengineering Conference», online unter: <http://www.etcgroup.org/en/node/5080> (zuletzt am 29.2.2012)
- ETC Group (2010): «Geopiracy: The Case against Geoengineering», first published Oct. 2010, Pambazuka Press, Cape Town
- ETC Group (2012): «Moving Beyond Technology Transfer: The Case for Technology Assessment», online unter: <http://www.etcgroup.org/en/node/5309> (zuletzt am 14.4.2012)
- GAO – Government Accountability Office (2010): «A Coordinated Strategy Could Focus Federal Geoengineering Research and Inform Governance Efforts», online unter: <http://www.gao.gov/products/GAO-10-903> (zuletzt am 28.2.2012)
- GEOENGINEERINGWATCH: <http://www.geoengineeringwatch.org>
- GLOBAL COOL CITIES ALLIANCE: <http://www.globalcoolcities.org>
- GOODELL, Jeff (2010): *How to Cool the Planet: Geoengineering and the Audacious Quest to Fix Earth's Climate*, Houghton Mifflin Harcourt
- HAMILTON, Clive (2011): «Ethical Anxieties About Geoengineering: Moral hazard, slippery slope and playing God», Konferenzpapier, online unter: http://www.clivehamilton.net.au/cms/media/ethical_anxieties_about_geoengineering.pdf (zuletzt am 17.02.2012)

- HEGERL, Gabriele / Solomon, Susan (2009): «Risks of Climate Engineering», online unter: <http://www.sciencemag.org/content/325/5943/955.summary> (zuletzt am 18.4.2012)
- HORTON, Josh (2011): ... <http://geoengineeringpolitics.blogspot.com/2011/12/arctic-methane-emergencies-and-alarmism.html>
- IMECHE – Institute for Mechanical Engineers (2009): Mitigation, Adaptation and Geo-Engineering, online unter: <http://www.imeche.org/knowledge/themes/environment/climate-change/mitigation-adaptation-geo-engineering> (zuletzt am 17.02.2012)
- KEITH, David / Dowlatabadi, Hadi (1992): «A Serious Look at Geoengineering», American Geophysical Union, Vol. 73, Nr. 27, online unter: http://people.ucalgary.ca/~keith/papers/09_Keith_1992_SeriousLookAtGeoeng_s.pdf (zuletzt am 17.02.2012)
- KEITH, David (2009): «Photophoretic levitation of engineered aerosols for geoengineering», in: PNAS, September 2010, Vol. 107, Nr. 38
- KLEIN, Naomi (2007): The Shock Doctrine, Metropolitan Books, 1. Ed.
- KOESSLER, Georg (2011): «Geo-Engineering: Mit dem Planeten spielen», online unter: <http://www.boell.de/oekologie/klima/klima-energie-geo-engineering-13635.html> (zuletzt am 29.2.2012)
- MCCUSKER, Kelly E., et al. (2011): «The climate response to stratospheric sulfate injections and implications for addressing climate emergencies», in: *Journal of Climate* 2011
- MOONEY, Pat / BRONSON, Diana / JO WETTER, Kathy (2009): «Retooling the Planet», Report für den schwedischen Naturschutzbund, online unter: http://www.etcgroup.org/upload/publication/pdf_file/Retooling%20the%20Planet%201.2.pdf (zuletzt am 2.1.2012)
- MOONEY, Pat (2010): Interview mit Democracy Now!, April 2010, online unter: <http://www.democracynow.org/2010/4/20/four> (zuletzt am 11.02.2012)
- OXFORD UNIVERSITY (2011): «Oxford Principles» provide a code of conduct for geoengineering research», online unter: <http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/press/201109-Oxford-Principles-PressRelease.pdf> (zuletzt am 29.2.2012)
- VON NEUMANN, John (1955). «Can We Survive Technology?», in: *Fortune*, Juni, S. 106-108
- NEON (2012): «Der Wettermacher», online unter: <http://www.christoph-koch.net/2012/02/07/der-wettermacher-geowissenschaftler-ken-caldeira-will-mit-geo-engineering-das-klima-manipulieren/#ixzz1luGnMseD> (zuletzt am 25.2.2012)
- PEARCE, Fred (2010): «What the UN ban on geoengineering really means», in: *NewScientists* am 1. November 2010, online unter: <http://www.newscientist.com/article/dn19660-what-the-un-ban-on-geoengineering-really-means.html> (zuletzt am 29.2.2012)
- REVKIN, Andrew (2011): «New Directions for the Intergovernmental Climate Panel», online unter: <http://dotearth.blogs.nytimes.com/2011/12/21/new-directions-for-the-intergovernmental-climate-panel/> (zuletzt am 23.2.2012)
- REVKIN, Andrew (2009): «A Branson Video Without Climate Comments», online unter: <http://dotearth.blogs.nytimes.com/tag/branson/> (zuletzt am 23.2.2012)
- REUTERS (2011): <http://www.dawn.com/2011/10/27/air-capture-technology-ready-by-2018-uk-engineers.html>
- ROBOCK, Alan (2008): «20 reasons why geoengineering may be a bad idea», in: *Bulletin of the Atomic Scientists*, Mai/Juni 2008, online unter: <http://climate.envsci.rutgers.edu/pdf/20Reasons.pdf> (zuletzt: 15.2.2012)
- ROBOCK, Alan et al. (2009): <http://climate.envsci.rutgers.edu/pdf/GRLreview2.pdf>
- ROMM, Joseph (2009a): «British coal industry flack pushes geo-engineering 'ploy' to give politicians «viable reason to do nothing» about global warming. Is that why Lomborg supports such a smoke-and-mirrors approach?», online unter: <http://thinkprogress.org/romm/2009/08/12/204499/british-coal-industry-flack-pushes-geo-engineering-ploy-to-give-politicians-viable-reason-to-do-nothing-about-global-warming-is-that-why-lomborg-supports-such-a-smoke-and-mirrors-approach/> (zuletzt am 15.2.2012)
- ROMM, Joseph (2009b): «Error-riddled «Superfreakonomics»...», online unter: <http://thinkprogress.org/romm/2009/10/12/204787/superfreakonomics-errors-levitt-caldeira-myhrvold/>

- ROMM, Joseph (2010): «Sole 'Strategic Partner' of landmark geo-engineering conference is Australia's 'dirty coal' state» online unter: <http://grist.org/climate-energy/sole-strategic-partner-of-landmark-geo-engineering-conference-is-australias/> (zuletzt am 15.2.2012)
- ROYAL SOCIETY (2009): «Geoengineering the Climate: Science, Governance and Uncertainty» online unter: http://royalsociety.org/uploadedFiles/Royal_Society_Content/policy/publications/2009/8693.pdf
- SPICE-Projekt der Cambridge University, Beschreibung u.a. online unter: <http://www2.eng.cam.ac.uk/~hemh/SPICE/SPICE.htm>
- STERN, Nicholas (2006): Stern Review Report on the Economics of Climate Change, online unter: http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm (zuletzt am 18.4.2012)
- SOLOMON, Susan (1999): «Stratospheric Ozone Depletion: A Review of Concepts and History», in: Reviews of Geophysics, Vol. 37
- TILMES, Simone et al. (2008): «The Sensitivity of Polar Ozone Depletion to Proposed Geoengineering Schemes», online unter: http://www.sciencemag.org/content/320/5880/1201.abstract?sa_campaign=Email/toc/30-May-2008/10.1126/science.1153966 (zuletzt am 18.4.2012)
- THE INDEPENDENT (2009): «Climate of technological hope», <http://www.independent.co.uk/opinion/leading-articles/leading-article-climate-of-technological-hope-1780243.html> (zuletzt am 18.4.2012)
- TRENBERTH, Kevin E./DAI, Aigui (2007): «Effects of Mount Pinatubo volcanic eruption on the hydrological cycle as an analog of geoengineering», in: *Geophysical Research Letters*, Vol. 34, Nr.16
- UBA Umweltbundesamt (2011): «Geo-Engineering, wirksamer Klimaschutz oder Größenwahn?» online unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4125.pdf> (zuletzt am 15.4.2012)
- OLSON, Robert W. (2011): «Geoengineering for Decision Makers», Studie des Woodrow Wilson International Center for Scholars, online unter: http://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/Geoengineering_for_Decision_Makers_0.pdf (zuletzt am 18.4.2012)
- UNESCO-SCOPE-UNEP (2011): «Policy Briefs, Engineering the climate. Research questions and policy implications», November 2011, Paris
- URPELAINEN, Johannes (2012): «Geoengineering and global warming: a strategic perspective», in: International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics, Nr. 1, Vol. 12
- VIDAL, John: «Bill Gates backs climate scientists lobbying for large-scale geoengineering», in: *Guardian*, am 6. Februar 2012, online unter: <http://www.guardian.co.uk/environment/2012/feb/06/bill-gates-climate-scientists-geoengineering> (zuletzt am 23.2.2012)
- WALLACE, D. et al. (2010): «Ocean Fertilization. A Scientific Summary for Policy Makers», IOC/UNESCO, Paris
- YIM, Wyss W.-S. (2011): «Volcanic eruptions since 1883 and East Asian monsoon variability,» in: Geophysical Research Abstracts Vol. 13, online unter: <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2011/EGU2011-1842-1.pdf> (zuletzt: 10.2.2012)



Der Klimawandel schreitet voran, die Folgen für Mensch und Natur werden verheerender. Was kann dagegen getan werden? Die deutliche Reduzierung der CO₂-Emissionen ist der naheliegende Weg. Doch auch ein anderer findet vermehrt Anklang: Geo-Engineering. Die Abscheidung und Lagerung des CO₂, die Impfung der Meere mit Eisen, unzählige Spiegel im All, die Sprühung von Sulfaten in die Atmosphäre – das sind nur einige der Vorschläge, mit denen die

Abläufe in der Natur im Sinne des Menschen manipuliert werden sollen, um den Klimawandel zu stoppen. Doch sind diese Ideen wirklich umsetzbar? Welche Risiken bergen sie? Und: Sind sie ethisch zu verantworten?

Der Autor Georg P. Kössler bietet mit dieser Publikation einen Blick auf die vielfältigen Konzepte des Geo-Engineering und eine Argumentationshilfe für die anstehenden Debatten.

Heinrich-Böll-Stiftung e.V.
Die grüne politische Stiftung

Schumannstraße 8, 10117 Berlin
T 030 285340 **F** 030 28534109 **E** info@boell.de **W** www.boell.de

ISBN 978-3-86928-084-4