

Lasst uns die Erde kühlen!

Das „Climate Engineering“ als rettender Strohhalm?

INSTITUT FÜR TECHNIKFOLGENABSCHÄTZUNG UND SYSTEMANALYSE (ITAS)

Karlsruhe, Schule der Nachhaltigkeit, 26.1.2011

Prof. Dr. Armin Grunwald

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)

Institut für Philosophie

Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB)

Inhalt

1. Der Klimawandel – pessimistische Szenarien
2. Die Idee des „Climate Engineering“
3. Mögliche technische Verfahren
4. Argumente und Gegenargumente
5. Ethik und Verantwortung

1. Der Klimawandel – pessimistische Szenarien

- Begrenzung des Anstiegs der Erdmitteltemperatur auf max. 2 Grad offiziell angestrebt
- dafür wäre eine drastische Verringerung von Treibhausgasemissionen erforderlich (nicht nur von CO₂)
- weltweit steigt der Ausstoß von Treibhausgasen jedoch weiter an
- wesentliche Gründe: Bevölkerungswachstum, Wirtschaftswachstum, insbesondere die „nachholende“ wirtschaftliche Entwicklung in Schwellen- und Entwicklungsländern,

Der Klimawandel – pessimistische Szenarien

- Mitigationsmaßnahmen wirken nur langsam, wenn überhaupt
- globale Klimapolitik nach Kopenhagen-Konferenz ein Scherbenhaufen
- divergierende Interessen (Entwicklungsländer, China, Russland, USA ...)
- Erreichung der Klimaziele wird unwahrscheinlicher
- dramatische Folgen des Klimawandels werden wahrscheinlicher, Adaptation schwieriger
- es handelt sich hier um ein Problem für Jahrhunderte bzw. Jahrtausende

Tipping Points/Kipp-Punkte des Klimas

- bei deren Überschreitung droht eine gefährliche Beeinträchtigung des Klimas selbst, mit plötzlichen, katastrophalen Klimaänderungen und „Überraschungen“
- Stichworte:
 - Beschleunigte Erwärmung durch ein weiteres Schmelzen des arktischen Meereises im Sommer
 - Erhöhung des Meeresspiegels (bis 7 m) durch ein Abschmelzen des Grönländischen oder Westantarktischen Eisschildes
 - Verringerung der lokalen Niederschläge durch eine Abschwächung des indischen Sommermonsuns
 - beschleunigte Zunahme der Treibhausgaskonzentrationen durch die Ausgasung von Methanhydraten am Meeresboden oder ein weiteres Auftauen von Permafrostgebieten

Kippelement	Erwartete Änderung	Übergangszeitskala in Jahren	Auswirkungen
See-Eis im arktischen Sommer	Flächenabnahme	≈10	Verstärkte Erwärmung; Ökosystemwandel
Grönland-Eis	Volumenabnahme	>300	Meeresspiegel (+2 bis 7 m)
Westantarktischer Eisschild	Volumenabnahme	>300	Meeresspiegel (+5 m)
Thermohaline Zirkulation im Atlantik	Geringerer Umsatz	≈100	Regionale Abkühlung; Meeresspiegel; Verschiebung der Innertropischen Konvergenzzone
El Niño-Southern Oscillation (ENSO)	Größere Amplitude	≈100	Dürre in Südostasien und anderswo
Indischer Sommermonsun	Weniger Regen	≈1	Dürre; Minderung der Erträge
Sahara/Sahel und Westafrikanischer Monsun	Vegetationszunahme	≈10	
Regenwald des Amazonas	Abnahme des Baumbestands	≈50	Verlust an Biodiversität; geringere Niederschläge
Boreale Wälder	Abnahme des Baumbestands	≈50	Biom Verschiebung
Antarktisches Bodenwasser	Geringere Neubildung	≈100	Ozeanzirkulation; Kohlenstoffspeicherung
Tundra	Abnahme des Baumbestands	≈100	Verstärkte Erwärmung; Biom Verschiebung
Permafrost	Verringerung des Volumens	<100	Methan- und CO ₂ -Freisetzung
Methanhydrate	Ausgasung	10 ³ -10 ⁵	Verstärkte globale Erwärmung
Sauerstoffmangelregionen in den Ozeanen	Ausdehnung	≈10 ⁴	Massensterben in den Ozeanen
Arktisches Ozon	Abnahme	<1	Erhöhte UV-Einstrahlung

2. Die Idee des Climate Engineering

Herkunft des Begriffs aus dem „Geo-Engineering“

Geo-Engineering: weit reichende Veränderungen der Erde (Untergrund, Oberfläche, Meere, Atmosphäre) mit ingenieurtechnischen Mitteln

Climate Engineering: technikorientierte Strategie, um den beschleunigten Klimawandel im Notfall ingenieurwissenschaftlich zu mildern oder zu bekämpfen

Metaphern:

- „Klimaanlage“ für die Erde – künstliche Kühlung
- „Thermostat“ für die Erde

Climate Engineering

- ist **gezielte** Beeinflussung des Klimas (im Gegensatz zu nicht intendierten Technikfolgen für das Klima)
- ist **großtechnische** Intervention in natürliche Systeme
- ist möglich/sinnvoll nur als **globale** Strategie
- setzt auf **mehr** Technik zur Lösung des Klimaproblems
- und auf **stärkere** Intervention in das Klimasystem (statt auf Verringerung unserer Interventionen)
- ist eine konsequente Fortsetzung des Programms der europäischen Aufklärung „Emanzipation von der Natur“ (Bacon)

Kleine Geschichte des Climate Engineering

- Vorläufer: gezielte Beeinflussung des Wetters (für landwirtschaftliche, politische oder technische Zwecke)
- aber: im Unterschied zum Climate Engineering regional begrenzt
- Edward Teller (Vater der Wasserstoffbombe): erste Ideen zur Kühlung der Atmosphäre
- Paul Crutzen (Nobelpreisträger, Entdecker des Ozonlochs): Climate Engineering als „Ultima Ratio“, Vorstoß in 2006
- 2009: interdisziplinäre Arbeitsgruppe der DFG, Antrag auf Schwerpunktprogramm
- 2010: internationale Konferenz in Asilomar (Kalifornien)

3. Mögliche technische Verfahren

Es werden zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt:

„Solar Radiation Management“ (SRM):

- die Sonneneinstrahlung auf die Erde vermindern (raumfahrttechnische Verfahren, Spiegel im Weltraum, „Jalousien“ für die Erde)
- die Rückstrahlung von Sonnenenergie in den Weltraum erhöhen (die „Albedo“ der Erde vergrößern)

„Carbon Dioxide Removal“(CDR)

- der Erdatmosphäre gezielt und in großem Maßstab Treibhausgase (hier: CO₂) entziehen

Verfahren des Solar Radiation Managements (SRM)

(nach: The Royal Society, 2009; S. 35)

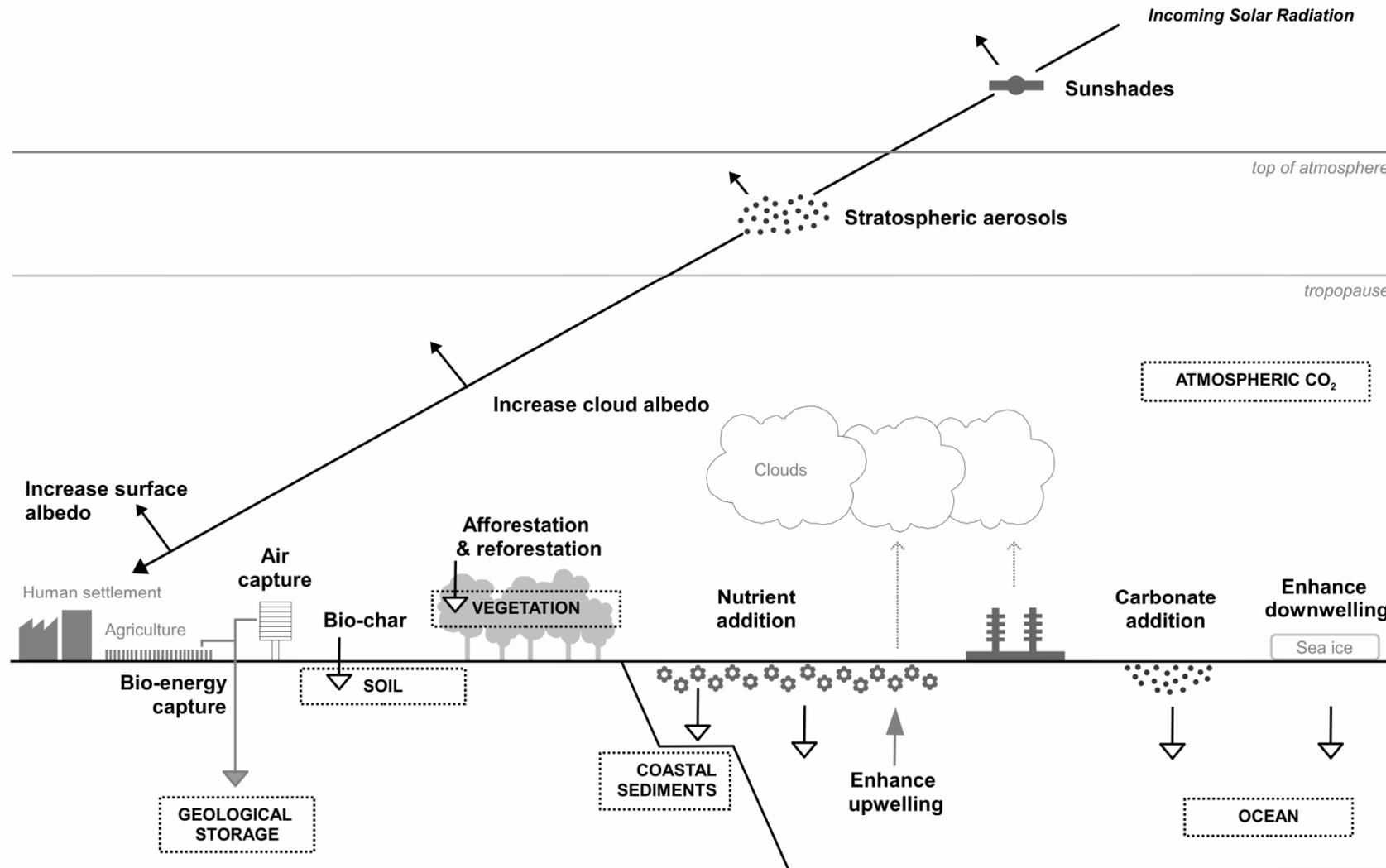
Verfahren		Änderung des Strahlungsantriebs in W/m ²	Mögliche Nebeneffekte mit Einschätzung des Risikos (H-M-G)
Vergroößerung der Bodenalbedo	„Weißen“ von Siedlungsgebieten und Infrastruktur	-0,2	Regionale Klimaänderungen (G)
	Landwirtschaftliche und andere bewachsene Flächen	-1	Regionale Klimaänderungen (M) Ertragsminderungen (G)
	Wüsten	-3	Regionale Klimaänderungen (H) Beeinträchtigung von Ökosystemen (H)
Vergroößerung der Wolkenalbedo (durch Versprühen von Meersalz-Aerosolen)		-4	Abbrecheffekte (H) Regionale Klimaänderungen (H)
Einbringen von Aerosolen in die Stratosphäre		Unbegrenzt	Abbrecheffekte (H) Regionale Klimaänderungen (M) Veränderung der stratosphärischen Chemie (Ozon!) (M)
Reflektoren im Weltall		unbegrenzt	Abbrecheffekte (H) Regionale Klimaänderungen (M) Ertragsminderungen (G)

CDR-Methoden

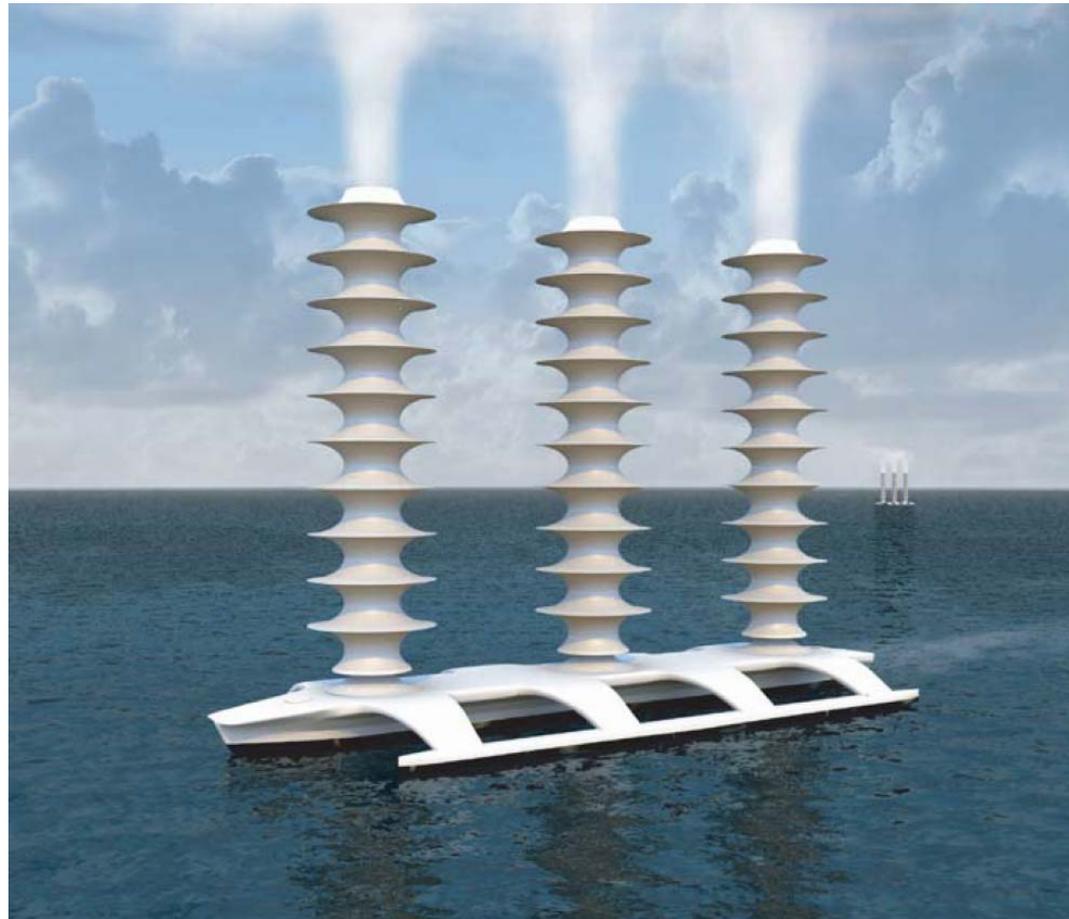
(nach Royal Society, 2009; S. 9)

	Land	Ozean
Biologisch	<ul style="list-style-type: none">• Aufforstung und Landnutzungsänderungen• Nutzung biogener Energieträger zusammen mit Kohlenstoffspeicherung	<ul style="list-style-type: none">• Eisendüngung• Phosphat-/Stickstoffdüngung
Physikalisch	<ul style="list-style-type: none">• Atmosphärische CO₂ Abscheider ('air capture')	<ul style="list-style-type: none">• Beeinflussung der thermohalinen Zirkulation
Chemisch ('künstliche Verwitterung')	<ul style="list-style-type: none">• In-situ Karbonisierung von Silikatgesteinen• Verstärkte Reaktion von CO₂ mit basischen Mineralien (Basalt und Olivin)	<ul style="list-style-type: none">• Mahlen, Ausbringen und Lösen von Kalkstein, Silikaten oder Calciumhydroxid zur Erhöhung der Alkalinität

Quelle: T. M. Lenton and N. E. Vaughan (2009): Radiative forcing potential of climate geoengineering, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, S. 5541



Quelle: S. Salter, G. Sortino and J. Latham (2008): Sea-going Hardware for the Cloud Albedo Method of Reversing Global Warming
Phil.Trans.Roy. Soc. A, 366, S. 3998



Einbringen von Schwefel-Aerosolen in die Stratosphäre



Ausbruch des Mt. Pinatubo



?



Bisheriges Wissen über Maßnahmen

- insgesamt gering, hohe Unsicherheiten und Bestände von Nichtwissen
- große rechtliche Probleme (divergierende Interessen, Abwesenheit einer „Global Governance“)
- SRM wirkt rasch, viele mögliche Risiken, eher „billig“ (einige Mrd. US-Dollar pro Jahr); Dauerbetrieb erforderlich, da Aerosole langsam absinken
- CDR wirkt langsam, tendenziell weniger Risiken, eher „teuer“
- Überlegungen zu Kombinationen: SRM als kurzfristige Maßnahme, um katastrophale Folgen des Klimawandels zu verhindern, bis CDR-Maßnahmen zu wirken beginnen

4. Argumente und Gegenargumente

Argumente pro Climate Engineering (zumindest für die weitere Erforschung möglicher Maßnahmen)

- **Ultima-Ratio Argument:** Climate Engineering sei die letzte „realistische“ Chance auf eine einigermaßen glimpfliche Bewältigung des Klimawandels
- **Optionenerweiterung:** durch CE werde die Zahl der Optionen erhöht, mit dem Klimawandel umzugehen, dadurch gebe es mehr Auswahlmöglichkeiten für die nächsten Generationen
- **Argument des kleineren Übels:** Climate Engineering werde gegenüber einem ungebremsten Klimawandel das kleinere Übel sein
- **Effizienzargument:** Climate Engineering sei ökonomisch viel effizienter als mühsame und volkswirtschaftlich teure Vermeidungs- oder Anpassungsstrategien
- **Umsetzbarkeit:** Climate Engineering (insb. SRM) sei viel leichter umzusetzen als eine Umstellung der Volkswirtschaft oder Änderung von Lebensstilen

Gegenargumente

- Risiken und unbekannte Nebenfolgen, z.B. durch die Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre oder durch das stete Absinken der Sulfat-Aerosole auf den Boden)
- dadurch Belastung zukünftiger Generationen (insbesondere durch mögliche Langzeiteffekte)
- Abbruchproblem: falls das Climate Engineering wegen plötzlich erkannter Nebenfolgen abgebrochen werden müsste, würde das Klima sich sehr rasch ändern, ohne dass die Gesellschaft sich anpassen könnte
- wahrscheinlicher Zusammenbruch aller Treibhausgasvermeidungsstrategien; stattdessen Weitermachen wie bisher
- Hybris-Befürchtungen: das Bild des Menschen „als Weltingenieur“ führt zum Verdacht von Anmaßung und Größenwahn sowie zur Sorge vor dem „Sich-verheben“
- ästhetische Folgen: Verlust des blauen Himmels?

5. Ethik und Verantwortung

- Ultima Ratio-Argument und das Argument der Optionenerweiterung sind ethisch prima facie ernsthaft zu prüfende Argumente, aber:
 - beide mit Unsicherheiten behaftet
 - nach Hans Jonas darf „das Ganze nicht zum Einsatz in einer Wette“ gemacht werden
- es liegt hier eine typische Dilemmasituation vor: man kann in beiden Richtungen etwas gravierend falsch machen
- die zentrale Frage könnte sein: hätten „wir“ genug Selbstdisziplin, um Climate Engineering wirklich nur „auf Vorrat“ zu erforschen und nur als „Ultima Ratio“ einzusetzen?
- oder droht hier nicht wieder eine blinde Technikgläubigkeit mit der Verlockung, mit Climate Engineering so weitermachen zu können wie bisher?
- hohe Unsicherheiten in alle Richtungen

**Forschungsausschuss
des US-Kongresses
(29.10.2010):**



**ENGINEERING THE CLIMATE:
RESEARCH NEEDS AND STRATEGIES FOR
INTERNATIONAL COORDINATION**

REPORT

BY

**CHAIRMAN BART GORDON
COMMITTEE ON SCIENCE AND TECHNOLOGY
U.S. HOUSE OF REPRESENTATIVES**

ONE HUNDRED ELEVENTH CONGRESS
SECOND SESSION
OCTOBER 2010

Printed for the use of the Committee on Science and Technology. This document has been printed for informational purposes only and does not represent either findings or recommendations adopted by this Committee.

Available online: <http://www.science.house.gov>

Nächste Schritte

- Forschung an Climate Engineering wird wohl stark gefördert werden
- u.a. wahrscheinlich mit einem ambitionierten US-amerikanischen Programm
- DFG-Schwerpunktprogramm unter starker Beteiligung von Ethik, Recht, Risikoforschung und Technikfolgenabschätzung
- Instrumentalisierung des Climate Engineering durch Wirtschaft und Politik plausibel, besonders in den USA
- Konferenz von Asilomar (4/2010): Graben zwischen europäischen und US-amerikanischen Wissenschaftlern
- Folgen für Klimapolitik nicht unwahrscheinlich, die „Debattenlandschaft“ hat sich bereits verändert

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dank auch an: Dipl. Met. Gerhard Sardemann, ITAS

Armin Grunwald