

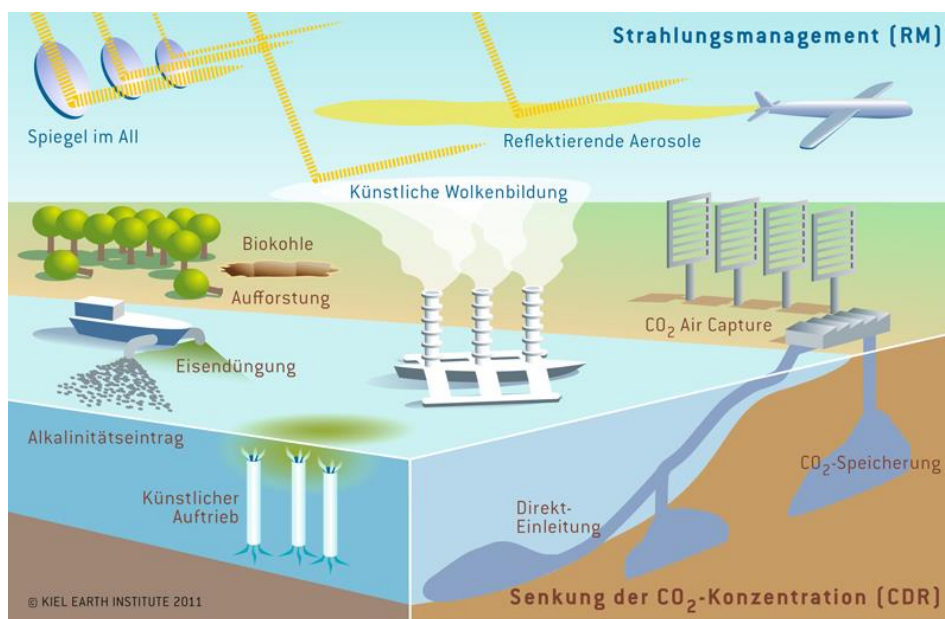
# Climate Engineering

Yvonne Albrecht, Sören Petersen

Gemeinschaftsschule am Burgfeld Bad Segeberg

27.09.2015

*Kann mithilfe des Solar Radiation Management die Klimaerwärmung verlangsamt oder gestoppt werden?*



## Gliederung

1. Einführung
2. Climate Engineering
3. Solar Radiation Management
  - 3.1 Reflektierende Aerosole
    - 3.1.1 Risiken und Chancen
    - 3.1.2 Kosten/Nutzen
  - 3.2 Produktionen von reflektierenden Wolken
    - 3.2.1 Risiken und Chancen
    - 3.2.2 Kosten/Nutzen
4. Zusammenfassung
5. Quellennachweise

## 1. Einführung

Der Klimawandel schreitet zusehends voran. Die mangelnde Bereitschaft der etablierten Industrieländer, auf die Nutzung fossiler Brennstoffe zu verzichten, und der Aufstieg von Schwellenländern, die ebenfalls Anspruch auf die Ausbeutung ihrer fossilen Brennstoffe erheben, erschwert es zunehmend, die Folgen des Klimawandels noch in kalkulierbaren Grenzen zu halten. Um die zu erwartenden Folgen des Klimawandels dennoch zu verhindern oder zumindest zu dämpfen, gibt es seit einiger Zeit die Überlegung, dem Klimawandel nicht länger nur mit der Forderung nach Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes zu begegnen, sondern auch mithilfe einiger neuer technischer Verfahren, die unter dem Terminus „Climate Engineering“ zusammengefasst werden.

## 2. Climate Engineering

Climate Engineering (CE) ist der Versuch des Menschen, den anthropogenen Treibhauseffekt, durch Eingriffe in das Klimasystem, einzudämmen oder aufzuhalten. Dies ist notwendig um die Erwärmung im globalen Mittel unter 2°C zu halten, da sonst unkalkulierbare Folgen für das Klimasystem und damit für das gesamte Leben auf der Erde drohen. Da kein Klimagipfel bisher festlegende Bestimmungen zur Eindämmung der CO<sub>2</sub>-Emission aufstellt hat, wird der Klimaerwärmung politisch nicht entgegengewirkt. Bis heute hat der Mensch schon eine Durchschnittserwärmung von 0,9°C erreicht, im Vergleich zur Durchschnittstemperatur vor der Industrialisierung, und da weitere 0,6°C im Ozean "eingespeichert" sind, haben wir lediglich 0,5°C bis zum Erreichen der 2-Grad-Grenze. Daher muss damit gerechnet werden, dass das 2-Grad-Ziel nicht eingehalten werden kann, somit muss man dem Klimawandel anderweitig entgegenwirken; dazu entwickeln Wissenschaftler verschiedene Konzepte, welche in das globale Klimasystem eingreifen sollen, um der Erderwärmung entgegenzuwirken, diese werden unter dem Begriff Climate Engineering zusammengefasst.

Zum einen gibt es die Möglichkeit, den CO<sub>2</sub>-Haushalt zu senken, indem man Bäume pflanzt oder Algen vermehrt, welche durch die Photosynthese das Kohlenstoffdioxid umwandeln sollen. Zum anderen sollen künstliche Bäume das CO<sub>2</sub> aus der Luft filtern und unter der Erde speichern. Diese Maßnahme nennt man Carbon Dioxide Removal (CDR). Eine weitere Möglichkeit, die Erderwärmung zu verhindern, ist es, die Sonneneinstrahlung in unserem Wärmehaushalt zu minimieren, diese Methode nennt man Solar Radiation Management

(SRM). Diese soll verhindern, dass ein Teil der Sonnenstrahlen erst gar nicht in unsere Atmosphäre bzw. unsere Erdoberfläche gelangen kann. Auf dieses Thema wollen wir auf den folgenden Seiten genauer eingehen.

### 3. Solar Radiation Management

Die Technologien des Solar Radiation Management (SRM) bezeichnen eine Unterkategorie des Climate Engineering. Man versucht, die auf die Erde treffende Sonnenstrahlung zu kontrollieren, um das Ungleichgewicht im Strahlungshaushalt der Erde, welches durch den Treibhauseffekt hervorgerufen wurde, zu kompensieren.

Es gibt verschiedene Denkansätze zum SRM.

Zum einen denkt man darüber nach, Aerosole mit Flugzeugen in der Luft zu verteilen oder künstliche Wolken zu erzeugen, um eine höhere Albedo zu erreichen. Ein anderer Ansatz ist, die Albedo von Wolken zu erhöhen oder neue Wolken mit hoher Albedo zu erzeugen, um Sonnenstrahlung ins All zu reflektieren.

Sehr kostenaufwendig und bisher nur in wenigen Studien beschrieben wäre die Idee, Spiegel im All anzubringen, die die Sonnenstrahlen noch vor der Atmosphäre ins All zurückreflektieren.

#### 3.1 Reflektierende Aerosole

Eine Möglichkeit des Solar Radiation Managements ist es die Temperatur der Erdoberfläche mit Hilfe von reflektierenden Aerosolen zu senken. Aerosolpartikel sind feste Schwebstoffe in der Atmosphäre, die das Sonnenlicht streuen und so die Erdalbedo erhöhen, sodass die Sonnenstrahlung zurück in den Weltraum geleitet wird. Wenn man die Aerosolenkonzentration der Erde erhöhen würde, könnte man einen ähnlich großen Klimawandel, wie es ihn durch das CO<sub>2</sub> gibt, erzeugen. Dazu haben Wissenschaftler verschiedene Theorien überlegt, um Aerosole in die Stratosphäre zu befördern. Eine von ihnen ist es, die Schwefelsäureaerosole mit Hilfe von Luftballons oder Tankflugzeugen dort hoch zu bringen. Diese Möglichkeit soll eine ähnliche Reaktion wie Vulkanausbrüche, z.B. der Vulkanausbruch auf den Philippinen im Jahre 1991, bringen. Der Ausbruch hatte damals ca. 20 Million Tonnen Schwefeldioxid in die Stratosphäre gebracht, wo diese dann mit Wasser zu Schwefelsäureaerosolen reagierten und so eine Senkung der globalen Bodentemperatur um 0.5°C für drei Jahre brachte. Eine weitere ozonfreundlichere Variante wäre der gleiche Versuch, nur anstatt Schwefelsäureaerosole soll Wasserdampf verwendet werden.

### 3.1.1 Risiken und Chancen

Die künstliche Erhöhung der Aerosolenkonzentration in der Stratosphäre kann der Klimaerwärmung entgegenwirken und die globale Temperatur senken. Allerdings ist dabei zu beachten, dass diese Maßnahme zwar für kurze Zeit wirksam sein könnte, die Dauer ihres Einsatzes aber an die Lebensdauer des CO<sub>2</sub> gebunden ist. So müsse diese Technik des Climate Engineering hunderte von Jahre durchgeführt werden, da ein verfrühter Abbruch zu einem rapiden Klimawandel führen würde, der nicht mehr aufzuhalten wäre. Auch müsse diese Methode von der gesamten Welt durchgeführt werden und über viele Jahrhunderte funktionieren, so dass auch ein aggressives politisch/wirtschaftliches Druckmittel der einzelnen Länder geschaffen werden würde, da ein einzelner Ausfall fatale Folgen haben kann.

### 3.1.2. Kosten / Nutzen

Die Maßnahme, dem Klimawandel bzw. der Erderwärmung mit Hilfe von reflektierenden Aerosolen entgegenzuwirken, ist eine der kostengünstigeren Varianten des Solar Radiation Managements. Es würden zwar mehrere Milliarden Dollar pro Jahr benötigt werden, um die Aerosole herzustellen und in die Stratosphäre zu bringen, aber die damit erreichten Ziele, also die Senkung der globalen Temperatur, würde der Menschheit von großen Nutzen sein.

## 3.3 Produktion reflektierender Wolken

Ein weiterer Ansatz zur Verlangsamung des Klimawandels ist die Manipulation von Wolken. Das kann entweder bedeuten, die Albedo vorhandener Wolken zu erhöhen oder neue Wolken mit einer hohen Albedo zu erzeugen. Diese Methode des Solar Radiation Managements wird besonders oft diskutiert, da sie besonders einfach umzusetzen ist. Bereits heute wird das Manipulieren von Wolken in der Landwirtschaft zur gezielten Erhöhung oder Reduktion von Niederschlag verwendet, beispielsweise in den USA und in Israel. Obwohl die hier angewendeten Verfahren<sup>1</sup> teilweise von den Konzepten abweichen, die man zur effektiven Bekämpfung des Klimawandels einsetzen müsste, zeigen sie doch, dass die Manipulation von Wolken eine umsetzbare Option zur Bekämpfung der Erderwärmung und damit des Klimawandels ist.

Wolken entstehen, wenn Wasserdampf an sogenannten Kondensationskernen resublimiert (zu Eiskristallen werden) beziehungsweise kondensiert. Wenn mehr Wassermoleküle an einem Kondensationskern haften bleiben, als ihn wieder verlassen, dann entsteht eine

sichtbare Wolke. Wichtig dabei ist einerseits die Temperatur der Wassermoleküle (je wärmer, desto höher die Chance, dass sich das Wassermolekül vom Kondensationskern löst) und andererseits die Anzahl der verfügbaren Wassermoleküle in der Umgebung des Kondensationskerns. Eine wichtige Rolle spielt auch die Verfügbarkeit von Kondensationskernen. Diese können beispielsweise Staub oder Pollen sein. Über den Ozeanen handelt es sich meist um Seesalzkondensationskerne.

Bei der Manipulation von Wolken zur Erhöhung ihrer Albedo wird auf die sogenannte *Grenzschichtbewölkung* über den Ozeanen zurückgegriffen, da diese Wolken sehr empfindlich auf Veränderungen reagieren. Außerdem wird die Manipulation dadurch vereinfacht, dass das Seewasser zur Veränderung der Wolken verwendet werden kann. Bereits im Jahre 1990 schlug der Forscher John Latham vor, dass Schiffe Seewasser versprühen könnten, um die *"Anzahl der hocheffektiven Seesalzkondensationskerne für Wolkentropfen zu erhöhen."*<sup>ii</sup> Diese Methode soll eine Erhöhung der Wolkenalbedo zur Folge haben, da sich die Anzahl der Wassertropfen in der Wolke erhöht und dadurch die Albedo gesteigert wird. Dies bezeichnet man auch als den "Twomey-Effekt", der bereits 1974 von S. Twomey beschrieben wurde.<sup>iii</sup> Bruce A. Albrecht beschrieb außerdem im Jahr 1989, dass die Lebensdauer von Wolken durch kleine Tropfengrößen erhöht werden könnte. Er bestätigt außerdem Twomeys These, dass eine Wolke mit kleineren Tropfen durch eine höhere Albedo in der Lage ist, zur Kühlung der Erde beizutragen.<sup>iv</sup> Konkret sollen Seesalzpartikel von ca.  $1\mu$  in der Nähe der Meeresoberfläche freigesetzt werden, welche zur Bildung von Seesalzkondensationskernen ausreichen sollen. So würde die Wolke durch mehr Kondensationskerne also eine höhere Albedo erhalten. (Ähnlich einer zerschlagenen Glasscheibe, die immer weißer wird, je mehr man sie zerkleinert) Die Anzahl der natürlichen Kondensationskerne ist gegenüber der Anzahl künstlich hinzugefügter Kondensationskerne geringer. Der Grund hierfür ist, dass durch die hinzugefügten Seesalzkondensationskerne eine gewisse Anzahl an ohnehin vorhandenen, natürlichen Seesalzkondensationskernen aufgrund einer gesunkenen Übersättigung nicht aktiviert wurde. Wichtig für die Aktivierung eines Seesalzkondensationskernes sind einerseits die Übersättigung und andererseits der Durchmesser des Kerns.

*"Es gilt je kleiner der Partikel ist, desto höher muss die Übersättigung für dessen Aktivierung sein. Daher werden bei der Impfung durch Absenken der Übersättigung kleine Partikel*

*möglicherweise nicht mehr aktiviert*" schrieb der Meteorologe Tobias Schad 2012. Es könnte möglich sein, mit dem Prinzip der Manipulation von Wolken dem Klimawandel entgegenzuwirken. Würde man alle maritimen, nicht durch andere Wolken überlagerten Wolken manipulieren, das bedeutet, ihre Kondensationskernanzahl verdoppeln, könnte man die Klimaerwärmung verursacht durch eine verdoppelte Menge CO<sub>2</sub> kompensieren.<sup>v</sup>

### 3.3.1 Chancen und Risiken

Hauptargument für die Funktionsweise des Prinzips ist in vielen Quellen die messbare Erhöhung der Albedo von Wolken, die mit Schiffsabgasen in Kontakt gekommen waren (man spricht von sogenannten "ship tracks"). Die Rußpartikel der Abgase dienen hierbei als Kondensationskerne. Neuere Forschungen belegen allerdings, dass das Prinzip noch einer weiteren Überprüfung bedarf da, sollte das Verfahren flächendeckend eingesetzt werden, bisher unabschätzbare Risiken hinsichtlich vor allem des Niederschlags drohen und sich tiefgreifende Veränderungen an Wolken global auswirken können.

### 3.3.2 Kosten/Nutzen

Das Prinzip der Wolkenmanipulation ist unter vergleichsweise geringem Kostenaufwand umzusetzen. Es muss keine Technologie wirklich neu entwickelt werden und es muss kein großer Aufwand zur Beschaffung von Ressourcen betrieben werden, da das Prinzip lediglich erfordert, Seewasser mithilfe von Schiffen zu versprühen, um Seesalzkondensationskerne zu erzeugen.

## 4. Zusammenfassung

Zusammenfassend ist festzustellen, dass das Climate Engineering eine reelle Option im Kampf gegen den durch die Klimaerwärmung hervorgerufenen Klimawandel sein kann. David Keith bemerkte zu recht, dass wir uns es nicht leisten könne, das Climate Engineering völlig auszublenden.

Es sollten allerdings noch weitere Forschung zum Thema angestellt werden, die sich mit den Auswirkungen beschäftigen, da sich das Climate Engineering, wenn überhaupt, global auswirken würde und sich nicht an Landesgrenzen stoppen ließe.

## 5. Quellennachweise

---

- i Vgl. Cotton, William R. In "Basic Cloud Seeding Concepts"; Colorado State University
- ii Vgl. Heintzenberg, Jost In "Climate Engineering" ; Ministerium für Bildung und Forschung 2011
- iii Vgl. Twomey, Sean In "Pollution and the planetary albedo"; Institute of Atmospheric Physics, The University of Arizona, Tucson, Arizona 1974
- iv Vgl. Albrecht, Bruce A. In "Aerosols, Cloud Microphysics, and Fractional Cloudiness"; Science, Volume 245, Issue 4923, pp. 1227-1230
- v Vgl. Schad, Tobias In " Numerische Simulation des Einflusses künstlicher Seesalz-Emissionen auf Stratocumulusbewölkung im Südostpazifik"; Institut für Meteorologie und Klimaforschung Karlsruher Institut für Technologie (KIT)