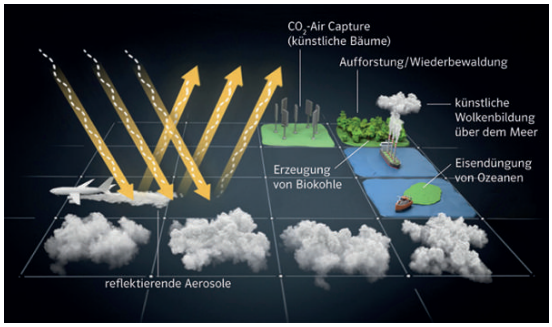
Infoblatt Geoengineering – gezielte Eingriffe in das Klimasystem



Auswahl möglicher Geoengineering-Maßnahmen (Screenshot aus dem Klett Erklärfim „Der Klimawandel“)(Quelle: creanovo, Axel Kempf, Hannover; Diana Jäckel, Erfurt)

Um dem Klimawandel zu begegnen und seine Folgen abzumildern, wird seit einigen Jahren neben der Vermeidung von Treibhausgasemissionen und der Anpassung an den Klimawandel eine weitere Strategie öffentlich diskutiert, die ein gezieltes Eingreifen in das Klimasystem der Erde zum Thema hat: das Geoengineering oder auch Climate Engineering. Doch sollte der Mensch das Klima gezielt beeinflussen?

Was bedeutet Geoengineering?

Unter dem Begriff Geoengineering sollen bewusst veranlasste, großräumige technologische Eingriffe in das Klimasystem verstanden werden, die das übergeordnete Ziel haben, die menschengemachte globale Erwärmung zu verlangsamen oder gar rückgängig zu machen.

Hierzu wird eine Vielzahl an unterschiedlichen möglichen Eingriffen vorgeschlagen, die sich in zwei große Gruppen einteilen lassen:

- Bei der ersten Gruppe geht es darum, bereits in der Atmosphäre befindliches Kohlenstoffdioxid als Treibhausgas zu entziehen. Solche Ansätze werden als Carbon Dioxide Removal (CDR) bezeichnet.
- Die zweite Gruppe an Maßnahmen versucht durch gezielte Eingriffe in den Strahlungshaushalt der Erde, eine globale Temperaturverringerung zu erreichen. Diese Maßnahmen werden als Radiation Management (RM) oder auch Solar Radiation Management (SRM) bezeichnet (Rickels et al. 2011, S. 1). Der Begriff Radiation Management scheint geeigneter zu sein, die Vielzahl der diskutierten Methoden zu beschreiben, da darunter auch solche Eingriffe erfasst werden können, die den langwelligen Teil des Strahlungshaushaltes – d.h. die Aus- und Gegenstrahlung – betreffen (SPP 1689 2018, S. 24).

Hier sollen nicht die technischen Verfahren zur Minderung der CO_2-Emissionen betrachtet werden, die beispielsweise einen geringeren Energieverbrauch oder eine höhere Effizienz bei der Nutzung von fossilen Brennstoffen zum Ziel haben und in einzelnen Veröffentlichungen auch zu den Geoengineering-Maßnahmen gezählt werden (Mark G. Lawrence et al. 2018, S. 2f.).

Negative Emissionen durch Carbon Dioxide Removal (CDR)

Eine Vielzahl an Vorschlägen zielt darauf ab, mittels biologischer, chemischer oder physikalischer Verfahren in den Kohlenstoff-Kreislauf der Erde einzugreifen und der Atmosphäre das Treibhausgas CO_2 aktiv zu entziehen (sogenannte negative Emissionen). So möchte man den Ursachen des anthropogenen Treibhauseffekts entgegenwirken. Eine Auswahl dieser Maßnahmen soll hier vorgestellt werden:

- **Erzeugung von Biokohle:**
  Aus Pflanzen oder Bioabfällen könnte durch Pyrolyse Biokohle hergestellt werden. Diese würde anschließend in Ackerböden eingearbeitet. Der Kohlenstoff wäre so für Jahrzehnte oder Jahrhunderte im Boden gespeichert. Als positiver Nebeneffekt könnten durch die Biokohle die Wasser- und Nährstoffspeicherfähigkeit vieler Böden verbessert und damit höhere Ernteerträge erzielt werden. Weiterhin könnte das bei der Pyrolyse entstehende Biogas und -öl zur Energieerzeugung genutzt werden. Um einen nennenswerten Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung zu erreichen, benötigt man aber sehr große Mengen an Biokohle. Die Menge an verwertbaren Bioabfällen ist aber begrenzt.

Problematisch wäre, wenn im großen Stil die Pflanzen eigens zur Erzeugung von Biokohle angebaut würden, denn dann stünden die benötigten Flächen evtl. nicht mehr der Nahrungsmittelproduktion für die wachsende Weltbevölkerung zur Verfügung. Auch ist bislang nicht auseichend erforscht, wie groß die Aufnahmefähigkeit der verschiedenen Böden für Biokohle jeweils ist. Als kleiner Teilbeitrag zur Begrenzung des anthropogenen Treibhauseffektes hätte diese Methoden aber durchaus Potenzial. (Rickels et al. 2011, S. 22, SPP 1689 2018, S. 32f.)

- **Aufforstung/Wiederbewaldung:**
  Wälder sind klassische CO_2-Senken und können in Form von Biomasse (v.a. Holz) CO_2 mehr oder weniger lange speichern. Insofern könnten großflächige Aufforstungs- oder Wiederbewaldungsmaßnahmen durchaus einen Beitrag zur Senkung der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre leisten. Da aber Jungbäume anfangs nur relativ wenig CO_2 binden können, dauert es einige Jahre, bis die neu angepflanzten Wälder ihre Wirkung als CO_2-Senken voll entfalten. Wichtig im Sinne einer nachhaltigen Bewirtschaftung wäre, dass möglichst standortgerechte Baumarten verwendet werden. Beachtet werden sollte weiterhin, inwiefern die Maßnahmen den lokalen Wasserhaushalt beeinflussen und ob es zu einer Flächenkonkurrenz im Hinblick auf die Nahrungsmittelerzeugung kommt. Entscheidend ist auch, was mit der erzeugten Biomasse geschieht. Wird das Holz zur Energieerzeugung verbrannt oder wird es (z.B. in Form von Bauholz) längere Zeit weitergenutzt? (Rickels et al. 2011, S. 23)
- **Bioenergieerzeugung mit CO_2-Abscheidung und -Speicherung (BECCS):**
  Dieses in den letzten Jahren häufig genannte und diskutierte Verfahren sieht vor, Pflanzen wie Eukalyptus, Pappeln, Weiden oder Riesen-Chinaschilf anzubauen, die in kurzer Zeit viel Biomasse aufbauen. In speziellen Biomassekraftwerken werden diese dann zur Energieerzeugung verbrannt, wobei das anfallende CO_2 abgeschieden und dauerhaft gespeichert werden soll. Als Speicher könnten beispielsweise ausgeförderte Erdgas- oder Erdöllagerstätten oder geeignete Gesteinsformationen dienen. Auch hier stellt sich das Problem der Flächenkonkurrenz des großmaßstäbigen Energiepflanzenanbaus zur Nahrungsmittelproduktion. Daneben sind die Auswirkungen auf die lokalen Ökosysteme und den Wasserhaushalt zum Teil unbekannt. Darüber hinaus sind die unterirdischen Speichermöglichkeiten begrenzt und mit zahlreichen Risiken behaftet. Beispielsweise könnte entweichendes CO_2 zu einer Versauerung des Grundwassers führen. Auch könnten kleinere Erdbeben durch das Verpressen von CO_2 ausgelöst werden. (Umweltbundesamt 2019, S. 3, SPP 1689 2018, S. 29ff.)
- **CO_2-Air Capture („künstliche Bäume“):**
  Dieser Vorschlag zielt darauf ab, CO_2 direkt aus der Atmosphäre zu entnehmen und zu binden, so wie Pflanzen es tun. Dies soll mit großen Filteranlagen („künstlichen Bäumen“) geschehen, welche mittels chemischer Verfahren das CO_2 zunächst binden und abscheiden, sodass es anschließend verflüssigt und in ein Speichermedium (z.B. in einen Untergrundspeicher oder in die Tiefsee) geleitet oder als Ausgangsstoff für kohlenstoffbasierte Materialien weiterverarbeitet werden könnte.
  Ein Vorteil wäre, dass man diese Anlagen überall, also auch in unmittelbarer Nähe zu den Speichermedien, errichten könnte, weil das CO_2 direkt aus der Umgebungsluft gefiltert wird.
  In der Praxis stellt sich aber auch hier die Frage, welche Kapazität die Speichermedien haben und wie sicher das CO_2 darin gespeichert werden könnte bzw. ob es mit einem wirtschaftlich vertretbaren Aufwand möglich ist, CO_2 als Rohstoff zu nutzen und weiterverarbeiten zu können.
  Die größte Schwäche dieses Verfahrens liegt aber in seiner mangelnden Energieeffizienz begründet. Da die CO_2-Konzentration in der Atmosphäre nur 0,04 Prozent beträgt, müssten sehr große Luftmengen durch die Anlagen geleitet werde. Insofern würde der Betrieb dieser Anlagen viel Energie benötigen. Würde man die Anlagen mit konventioneller Energie betreiben, würde man mehr CO_2 bei der Energieerzeugung freisetzen, als anschließend gefiltert und gespeichert werden könnte. Insofern wäre ein Betrieb nur mit erneuerbaren Energien sinnvoll. (Rickels et al. 2011, S. 21, SPP 1689 2018, S. 28f.)
- **beschleunigte Verwitterung:**
  CO_2 wird auch bei Verwitterung von Silikat- oder Carbonatgestein gebunden. Allerdings dauern diese Prozesse sehr lange. Man könnte diese Vorgänge beschleunigen und beispielsweise karbonatisches oder silikatisches Gesteinsmehl auf nährstoffarmen, sauren Ackerböden ausbringen und damit zugleich die Bodeneigenschaften und Nährstoffversorgung der Pflanzen verbessern. Eine negative Begleiterscheinung wäre allerdings der massive landschaftliche Eingriff infolge der notwendigen bergbaulichen Aktivitäten bei der Gewinnung des Gesteinsmehls. Auch besteht die Gefahr, dass die Böden durch im Gesteinsmehl evtl. enthaltene Schwermetalle kontaminiert würden. Auch gibt es noch Forschungsbedarf hinsichtlich der Aufnahmefähigkeit bzw. den

Verwitterungsgeschwindigkeiten der unterschiedlichen Böden in den verschiedenen Klimazonen (SPP 1689 2018, S. 27f.).
Würde das karbonatische oder silikatische Gesteinsmehl in das Oberflächenwasser der Ozeane eingebracht, würde es durch seine basische Reaktion nicht nur der Versauerung der Ozeane entgegenwirken, sondern auch Kohlenstoff binden und damit die Aufnahmefähigkeit der Ozeane für weiteres CO_2 aus der Atmosphäre erhöhen. Aber auch hier bestehen Risiken, da nicht absehbar ist, wie sich bei einem großräumigen Einsatz die veränderten chemischen Eigenschaften des Wassers auf die empfindlichen Meeresökosysteme auswirken. (SPP 1689 2018, S. 34f.)

- **Eisendüngung von Ozeanen:**
  Da in vielen Meeresteilen ein natürlicher Mangel des Pflanzennährstoffs Eisen besteht, könnte eine Eisendüngung das Wachstum des Phytoplanktons anregen, welches dann mithilfe von Fotosynthese Kohlenstoff binden könnte. Ein Teil des auf diese Weise gebundenen Kohlenstoffes könnte dann mit dem absterbenden Plankton in die Tiefsee absinken und so bliebe die Aufnahmefähigkeit des Oberflächenwassers für CO_2 aus der Atmosphäre gleichbleibend hoch.
  Experimente haben aber gezeigt, dass die Menge des tatsächlich in die Tiefsee absinkenden Planktons sehr gering ist, d.h. also große Mengen an Eisendünger ausgebracht werden müssten, um einen nennenswerten Effekt zu erzielen. Andererseits ist die Düngung auch mit Risiken verbunden, da sie unerwünschte Effekte auf die empfindlichen Meeresökosysteme haben könnte. Beispielsweise könnten bakterielle Zersetzungsprozesse nach einer Planktonblüte den Sauerstoffanteil in den betroffenen Meeresteilen reduzieren, welche dann für viele Meereslebewesen zu einer lebensfeindlichen Umgebung würden. (Rickels et al. 2011, S. 25f., SPP 1689 2018, S. 35f.)

Globale Abkühlung durch Radiation Management (RM)

Ziel dieser Maßnahmengruppe ist es, eine globale Abkühlung bzw. Abschwächung der Erwärmung durch eine Veränderung des Strahlungshaushaltes zu erreichen. Zwei solcher Maßnahmen sollen hier beispielhaft vorgestellt werden:

- **reflektierende Aerosole:**
  In die Stratosphäre (15 bis 50 km Höhe) könnten mithilfe von Flugzeugen oder Ballons kleine Partikel, beispielsweise Sulfataerosole, eingebracht werden, welche einen Teil der einfallenden Sonnenstrahlen reflektieren und in den Weltraum zurückstrahlen würden. Dann würde weniger Strahlung die Erdoberfläche bzw. die Troposphäre erreichen und dort absorbiert, d.h. in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt werden. Da die Aerosole in diesen großen Höhen nicht von Niederschlägen ausgewaschen werden könnten, hätten sie eine längere Verweilzeit und könnten ein bis zwei Jahre ihre Wirkung entfalten. Größere Vulkanausbrüche in der Vergangenheit haben tatsächlich gezeigt, dass Sulfataerosole eine messbare Abkühlung bewirken können.
  Generell gibt es auch bei dieser Methode noch viele Unsicherheiten bzw. weiteren Forschungsbedarf. So ist nicht klar, welche Mengen an Sulfataerosolen eingebracht werden müssen, um eine effektive Wirkung zu erzielen. Auch ist noch nicht geklärt, wie eine gleichmäßige und kontinuierliche Verteilung der Partikel technisch lösbar wäre. Weiterhin sind ungewollte Nebenwirkungen in Zusammenhang mit der Methode denkbar. Beispielsweise könnte die Freisetzung von Schwefeldioxid zu saurem Regen führen, der Pflanzen und Böden schädigt. Auch eine Schädigung der stratosphärischen Ozonschicht ist nicht auszuschließen. Weiterhin könnten durch die verminderte Einstrahlung das Pflanzenwachstum gehemmt und der Wasserkreislauf in der Atmosphäre verändert werden. (Rickels et al. 2011, S. 14f., SPP 1689 2018, S. 37f.)
- **künstliche Wolkenbildung über dem Meer:**
  Niedrige, dichte Wolken sind in der Lage, die einfallende kurzwellige Sonnenstrahlung zu reflektieren. Zwar absorbieren sie auch die von den Land- oder Meeresflächen abgegebene langwellige Wärme und strahlen einen Teil davon wieder in Richtung Erdoberfläche zurück (Gegenstrahlung), doch insgesamt überwiegt die reflektierende (abkühlende) Wirkung. Ein Vorschlag besteht darin, über bestimmten, bislang größtenteils wolkenfreien Teilen der tropischen Ozeane künstliche Stratokumuluswolken zu erzeugen. Dazu soll von Schiffen oder Flugzeugen Meerwasser in die Troposphäre versprüht werden. Die darin enthaltenen Salzkristalle sollen dabei als Kondensationskerne für die Wolkentröpfchen dienen.
  Die technische Schwierigkeit besteht darin, die Kondensationskerne in die entsprechenden Schichten der Troposphäre (mindestens einige hundert Meter Höhe) einzubringen, damit sie wirksam sein können. Da die Lebensdauer der Wolkentröpfchen sehr kurz ist, müssten diese Sprühaktionen beständig wiederholt und großflächig durchgeführt werden. Der technische Aufwand und der Energiebedarf wären dabei entscheidende Größen für einen

wirtschaftlichen und ökologisch sinnvollen Einsatz. Weiterhin besteht auch hier das Risiko, dass durch die künstliche Wolkenbildung in den Wasserkreislauf der Atmosphäre eingegriffen wird und sich beispielsweise die Niederschlagsmuster regional verändern. Auch hier besteht also noch Forschungsbedarf. (Rickels et al. 2011, S. 14f., SPP 1689 2018, S. 38f.)

Alle Methoden des RM haben gemeinsam, dass sie bereits kurzfristig eine Wirkung entfalten können. In diesem Vorteil liegt aber auch ein Problem: Werden die Maßnahmen dann nicht kontinuierlich fortgeführt, kann es zu einer sehr plötzlichen Temperaturerhöhung kommen, an die sich die Ökosysteme nicht schnell genug anpassen können. Ein beschleunigtes Aussterben vieler Tier- und Pflanzenarten wäre die Folge.

Auch treten diese Maßnahmen nicht der eigentlichen Ursache der globalen Erwärmung, d.h. der Erhöhung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre entgegen. Damit helfen diese Methoden auch nicht, Begleiterscheinungen der hohen CO_2-Konzentrationen, wie beispielsweise die Versauerung der Ozeane, zu verhindern.

Darüber hinaus zeigt sich die abkühlende Wirkung eher in den tropischen und subtropischen Regionen der Erde, da diese durch die Maßnahmen zur Erhöhung der Reflexion in der Atmosphäre weniger Einstrahlung empfangen würden. Dies würde letztlich auch den Wasserkreislauf der Atmosphäre beeinflussen und könnte zu veränderten Niederschlagsmustern führen (SPP 1689 2018, S. 40f.).

Kritik

Einige der angeführten Methoden, wie beispielsweise die Aufforstung/Wiederbewaldung oder die Erzeugung von Biokohle, sind teilweise bereits etabliert bzw. haben durchaus Potenzial, auf eine nachhaltige Art und Weise zu einer gewissen Minderung der Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Atmosphäre beizutragen. Doch können Maßnahmen des Geoengineerings nur dann eine nennenswerte Wirksamkeit entfalten, wenn sie in einem großräumigen Maßstab angewendet werden. Mit den genannten Radiation-Management-Maßnahmen, aber auch mit vielen CDR-Maßnahmen gingen z.T. ungewollte und unkalkulierbare Einflüsse auf diverse Ökosysteme und damit auch auf das Leben und Wirtschaften der Menschen einher. Würden mehrere Maßnahmen gleichzeitig durchgeführt, könnte dies zu Wechselwirkungen führen, die bislang unbekannt sind. Vor allem stellt sich unweigerlich die Frage, welche Instanzen zu solch großräumigen und massiven Eingriffen berechtigt sein sollten. Sind es Einzelstaaten oder durch völkerrechtliche Verträge legitimierte Institutionen? Da die Auswirkungen der Maßnahmen regional sehr verschieden sein können, könnten einige Regionen bzw. Bevölkerungsgruppen von den Maßnahmen eher profitieren, während andere in ihren Entwicklungsmöglichkeiten beeinträchtigt würden. Dies würde wiederum die Gefahr von Konflikten und Kriegen erhöhen. Insofern hat der Einsatz von Geoengineering-Maßnahmen immer auch eine ethische und eine politische Dimension.

Quellen:

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Global Warming of 1.5 °C: an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. IPCC o.O. 2018
Mark G. Lawrence et al.: Evaluating climate geoengineering proposals in the context of the Paris Agreement temperature goals. Nature Communications vom 13.09.2018, unter: https://www.nature.com/articles/s41467-018-05938-3/
Wilfried Rickels et al.: Gezielte Eingriffe in das Klima? Eine Bestandsaufnahme der Debatte zu Climate Engineering. Sondierungsstudie für das Bundesministerium für Bildung und Forschung, Kiel: Kiel Earth Institute 2011
Schwerpunktprogramm 1689 der Deutschen Forschungsgemeinschaft „Climate Engineering: Risks, Challenges, Opportunities“ (SPP 1689) (Hrsg.): Climate Engineering und unsere Klimaziele – eine überfällige Debatte. SPP 1689 o.O. 2019
Umweltbundesamt (Hrsg.): UBA-Kurzposition zur Kohlendioxid-Entnahme aus der Atmosphäre – Carbon Dioxide Removal (sogenannte „negative Emissionen“). Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt 2019

Autor/Autorin:

Jens Bickel

Gymnasiallehrer für Geographie und Geschichte, seit 2003 Redakteur im Programmbereich Geographie beim Ernst Klett Verlag in Leipzig, betreut u.a. Schülerbücher der TERRA-Reihe
Kontakt: j.bickel@klett.de

Letzte Änderung: 22.10.2020