

Reihe „Wissenschaft für jedermann“

Climate Engineering

Verantwortung, Risiko, Technikfolgen

Aktiv Einfluss nehmen auf das Klima und die Erde mit technischen Mitteln kühlen: Das ist der auf den ersten Blick fast verwegene Plan, den Wissenschaftler neuerdings verfolgen, die sich mit „Climate Engineering“ befassen. Bei seinem Vortrag mit dem Titel „Lasst uns die Erde kühlen! Climate Engineering. Verantwortung, Risiko, Technikfolgen“ im Rahmen der Reihe

„Wissenschaft für jedermann“ stellte Professor Armin Grunwald die denkbaren Techniken vor, sprach aber auch über die damit verbundenen Gefahren. Die Reihe „Wissenschaft für jedermann“ organisiert die Katholische Akademie zusammen mit dem Deutschen Museum, wo am 10. November 2010 auch dieser Vortrag gehalten wurde.

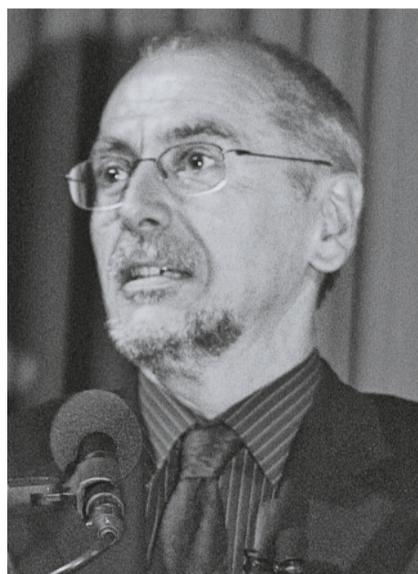
„Lasst uns die Erde kühlen!“

Armin Grunwald

1. Das Klimaproblem – versagen die bisherigen Lösungskonzepte?

Die Menschheit greift seit der Industriellen Revolution und in weiter zunehmendem Ausmaß in das Klimasystem ein. Dies geschieht vor allem durch die Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre durch den Ausstoß von Kohlendioxid aus der Nutzung fossiler Energieträger, aber auch durch Methanemissionen der Landwirtschaft und durch weitere Treibhausgase. Diese menschlichen Beeinflussungen des Klimas auf der globalen Ebene sind *nicht intendierte* Folgen von Wirtschaftswachstum, Techniknutzung, Lebensstilen, Konsum- und Produktionsmustern, Landnutzung und vielem mehr. Viele kleine Handlungen und Entscheidungen, die für sich genommen jeweils nur Bagatellen angesichts der schier Größe der Atmosphäre wären, summieren sich auf der globalen Ebene.

Wenn die wissenschaftlichen Deutungen zutreffen – wovon nach dem heutigen Kenntnisstand mit hoher Wahrscheinlichkeit auszugehen ist –, dass es diese menschlich verursachten Treibhausgasemissionen sind, die zur globalen Erwärmung führen, liegt die Therapie scheinbar auf der Hand: Verringerung der Treibhausgasemissionen (Mitigation), z.B. durch effizientere Technik, durch die Ersetzung fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien oder durch nachhaltigere Lebensstile. Freilich hat sich gezeigt, dass dieser Weg sehr steinig ist. Die globale Klimapolitik, die bislang vor allem unter dem Zeichen der Mitigation stand, ist nach der Klimakonferenz Ende 2009 in Kopenhagen ein Scherbenhaufen. Weltweit steigt der Ausstoß von Treibhausgasen weiter an, und dieser Trend wird sich nach allen Szenarien noch lange Zeit fortsetzen, selbst wenn Mitigungsmaß-



Prof. Dr. Armin Grunwald, Leiter des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) am Forschungszentrum Karlsruhe

nahmen in größerem Umfang greifen sollten. Wesentliche Gründe hierfür sind das global weiterhin starke Bevölkerungswachstum, das Wirtschaftswachstum in weiten Teilen der Welt, das zu höherem Energieverbrauch und zu mehr Emissionen führt, und insbesondere die „nachholende“ wirtschaftliche Entwicklung in Schwellen- und Entwicklungsländern wie China, Indien oder Brasilien.

Da sich seit langem andeutet, dass Mitigungsmaßnahmen angesichts des fortgeschrittenen Stadiums des Klimawandels kaum ausreichen dürften, sind seit Jahren auch Strategien der *Anpassung* in der Diskussion (Adaptation):

Einleitung

Klaus Arntz

„Sommerflair auf Knopfdruck“ Mit diesem Werbeslogan wirbt eine deutsche Firma für Terrassenheizungen. In der Freiluftgastronomie haben die umgangssprachlich so genannten „Heizpilze“ inzwischen überall Einzug gehalten. Sie ermöglichen auch in der kalten Jahreszeit den Aufenthalt im Freien und bieten – so die Versicherung auf der Homepage – Rauchern ein geschütztes, warmes Plätzchen.

Ich kann nicht verhehlen, dass mich beim Anblick dieser Geräte ein gewisses Unbehagen beschleicht. Ein kühles Novemberbier auf der Maxstrasse in Augsburg unter einem rot glühenden Heizpilz (...). Das erinnert mich an Erdbeeren zu Weihnachten oder Spargel zu Ostern. Außergewöhnlich mag das sein, sinnvoll erscheint mir das nicht. Den natürlichen Jahreszeiten auf diese Weise technisch ins Handwerk zu pfuschen, darüber kann man trefflich streiten.

Auf der anderen Seite gebe ich zu, dass ich mich an der Klimaanlage im Auto erfreue und es schon seit einigen Tagen wieder bereue, auf die Annehmlichkeiten einer Sitzheizung beim Kauf des Fahrzeugs verzichtet zu haben.

„Climate engineering“ – bei der näheren Beschäftigung mit dem Thema des heutigen Abends kam mir das ganze Projekt, das uns heute hier fachkundig vorgestellt werden wird, zunehmend abenteuerlich vor. Die Erde gleichsam zum Wohnzimmer zu machen, in dem man die Temperatur nach Bedarf regeln kann, das schien mir bislang eher in das Reich der Science-Fiction-Literatur als in das Deutsche Museum zu gehören. Aber die Bereitschaft der Veranstalter, diesem Thema in der Veranstaltungsreihe „Wissenschaft für jedermann“ Raum zu geben, zeigt offensichtlich die Aktualität und Bedeutung der Herausforderung.

Das dokumentiert auch die vor kurzem im japanischen Nagoya zu Ende gegangene UN-Konferenz zur Artenvielfalt. Diese beschäftigte sich nämlich unter anderem auch mit künstlichen Wolken, riesigen Spiegeln, die das Sonnenlicht reflektieren und dadurch die Erde kühlen sollen. Man denkt darüber nach, die Meere mit Eisensulfat zu düngen, um auf diesem Weg – durch vermehrte Algenbildung – mittelfristig das Klima zu retten und die Erderwärmung abzuschwächen.

Bei der Recherche zum Thema wird schnell deutlich, dass die Wogen hoch gehen. Warnungen und Empörung vor den unkalkulierbaren Risiken auf der einen Seite, Erleichterung und Zuversicht vor dem Hintergrund der Klimaprobleme auf der anderen Seite. Diese Reaktionsmuster bestimmen augenblicklich das Szenario. Insofern scheint eine technische und ethische Orientierung in Sachen „climate engineering“ durchaus geboten.

Die Forderung, technologische Prozesse und Entwicklungen nicht nur aus der Optik der Innovation, sondern auch der möglichen Revision zu betrachten, ist für den aktuellen Risiko- und Verantwortungsdiskurs von entscheidender Bedeutung. Ein vergleichbares Anliegen hat der evangelische Sozialethiker Trutz Rendtorff unter dem Stichwort Reflexivität vorgetragen.

Er will dieses Paradigma in spezifischen technisch-ökologischen Konflikten einsetzen, wenn die weithin akzeptierten Ziele der kulturellen Naturaneignung (z. B. Bekämpfung von Krankheiten, gesundheitsunschädliche Ertragssteigerung in der Landwirtschaft, Bereitstellung von Energie usw.) zu



Prof. Dr. Klaus Arntz, Professor für Moralthologie an der Universität Augsburg, leitet die Reihe „Wissenschaft für jedermann“ und gab auch diesmal eine kurze und präzise Einführung in die Thematik.

Entscheidungen führen, deren Nutzen – im Endresultat – von schädlichen Folgen (Klimawandel, Jahrhunderte währende Folgelasten etc.) übertroffen werden. Ein solcher Konflikt wäre unlösbar, wenn die eingetretenen Folgen überhaupt keine Korrektur des eingeschlagenen Weges mehr zulassen würden. An dieser Stelle setzt die Forderung an, dass das beabsichtigte wissenschaftlich-technisch vermittelte kulturelle Handeln hinsichtlich seiner eigenen Folgen korrekturfähig sein muss. Die Ethik der Folgen lässt sich in eine Maxime kleiden: „Handle so, dass Du Dich durch die Folgen Deines Handelns korrigieren lassen kannst.“

Damit ist nicht die Forderung verbunden, dass ökosystemisch sensible Entscheidungen gar nicht mehr getroffen werden dürfen. Vielmehr geht es darum, dass „die tatsächlichen Folgen des Handelns in der Differenz von beabsichtigten und unbeabsichtigten Folgen so auf das Handeln zurückwirken, dass sie eine korrigierende Wirkung haben und zu einer Neudefinition der Handlungsintentionen und der Handlungsinstrumente führen.“

Die hier skizzierten Fragestellungen und die damit verbundenen Herausforderungen gehören seit Jahren zu den Interessens- und Forschungsgebieten unseres Referenten. Daher freuen wir uns für den heutigen Abend einen ausgewiesenen Fachmann zum Thema gewonnen zu haben: Prof. Dr. Armin Grunwald. Er ist seit 1999 der Leiter des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse am Forschungszentrum Karlsruhe.

Prof. Armin Grunwald hat seinen Vortrag überschrieben mit dem Titel: „Lasst uns die Erde kühlen!“ Ich habe lange in der Hl. Schrift gesucht, aber diesen göttlichen Auftrag in der Schöpfungsgeschichte nicht gefunden. Daher bin ich – aus theologisch-ethischer Sicht – gespannt, wie die Überlegungen unseres Referenten ausfallen werden, die sich dem „Climate engineering“ unter dem inhaltlichen Dreiklang von Verantwortung, Risiko und Technikfolgen widmen werden. □

statt den Klimawandel zu bekämpfen, geht es in dieser Perspektive darum, mit ihm zu leben. Also müssen Vorkehrungen getroffen werden, auch in Zeiten eines möglicherweise größeren Klimawandels menschenwürdige Verhältnisse zu erhalten und Katastrophen zu vermeiden, z.B. durch den Ausbau der Deiche gegen einen höheren Meeresspiegel, durch Erschließung neuer Wasserressourcen in zunehmend trockenen Gebieten und durch Maßnahmen gegen die in höherer Zahl erwarteten „extremen Wetterereignisse“ wie Überschwemmungen.

Freilich haben auch Anpassungsstrategien Grenzen, falls der Klimawandel bestimmte Ausmaße überschreitet. Gegenwärtig wird von den Vereinten Nationen das Ziel verfolgt, den Anstieg der globalen Mitteltemperatur auf zwei Grad zu beschränken, weil dann der Klimawandel als mit Mitteln der Adaptation bewältigbar erscheint. Angesichts der schleppenden politischen Schritte, der Trägheit der Umstellung auf nicht-fossile Energiequellen auf der globalen Ebene, eines auf ökologische Belange wenig Rücksicht nehmenden Wirtschaftswachstums in vielen Schwellenländern und einer weiter wachsenden Erdbevölkerung mit zunehmendem Energiehunger mehren sich die Zweifel, dass sich das Zwei-Grad-Ziel auch unter günstigen Umständen überhaupt noch erreichen lässt. Dafür wäre eine drastische und rasche Verringerung von Treibhausgasemissionen erforderlich, wofür weltweit keine Anzeichen erkennbar sind. Teilweise wird das Zwei-Grad-Ziel bereits offen als völlig unrealistisch angesehen. Dann jedoch werden dramatische Folgen des Klimawandels wahrscheinlicher, die Anpassung immer schwieriger und es droht eine gefährliche und schlecht prognostizierbare Situation mit plötzlichen katastrophalen Klimaänderungen und „Überraschungen“ wie

- beschleunigte Erwärmung durch ein weiteres Schmelzen des arktischen Meereises im Sommer
- starke Erhöhung des Meeresspiegels (bis 7 m) durch ein Abschmelzen des grönländischen oder westantarktischen Eisschildes
- beschleunigte Zunahme der Treibhausgaskonzentrationen durch die Ausgasung von Methanhydraten am Meeresboden oder ein weiteres Auftauen von Permafrostgebieten

Positive, d.h. sich selbst verstärkende Rückkopplungseffekte könnten zu einer Welt mit klimatischen Bedingungen führen, die in weiten Teilen für den Menschen nicht mehr angenehm sind, um es zurückhaltend zu formulieren. Daher erscheint es, auch wenn dies bloß spekulative Überlegungen sind, verständlich, dass nach weiteren Möglichkeiten gesucht wird, mit den Folgen des Klimawandels umzugehen.

2. Climate Engineering – technische Optionen

Was bleibt, wenn die Beseitigung der Ursachen des Klimawandels durch Verringerung der Treibhausgasemissionen unrealistisch wird, und die Anpassung an den Klimawandel dadurch vor unlösbare Probleme gestellt wird? In diesem Zusammenhang wird neuerdings das Wort „Climate Engineering“ verwendet. Es war der Nobelpreisträger Paul Crutzen, der im Jahre 2006 die *absichtliche* Beeinflussung des Klimasystems im Sinne einer „Kühlung der Erde“ auf die Agenda brachte. Er fasste sie als mögliche „Ultima Ratio“ auf, als letzte Chance, falls alle anderen Anstrengungen der



Das Podium nach dem Vortrag: die Professoren Arntz (re.) und Grunwald.

Eindämmung des Klimawandels scheitern sollten.

Im Climate Engineering – ein passender deutscher Begriff wurde bislang nicht gefunden – geht es darum, mit global eingesetzten und möglichst rasch wirkenden Techniken die Atmosphäre künstlich zu „kühlen“, um dadurch der Erderwärmung entgegen zu wirken. Technisch gibt es drei konzeptionelle Ansätze:

1. es könnte die von der Sonne zur Erde kommende Strahlungsenergie dadurch reduziert werden, dass im Welt- raum Spiegel angebracht werden, die einen Teil der Sonnenstrahlung reflektieren, so dass weniger Energie auf der Erde ankommen würde;
2. es könnte die Rückstrahlung der Erde in den Weltraum hinein (Albedo) gesteigert werden, so dass von der in die Atmosphäre eingestrahlten Sonnenenergie ein höherer Teil in den Weltraum reflektiert würde und somit nur ein kleinerer Teil absorbiert würde. Technisch könnte dies beispielsweise durch gezielte Einbringung von kleinen Partikeln (Aerosolen) in obere Atmosphärenschichten realisiert werden; aber auch Maßnahmen wie das großflächige Weißstreichen von Straßen oder Hausdächern gehören in diese Kategorie;
3. es könnte versucht werden, der Atmosphäre in großem Umfang Kohlendioxid zu entziehen und z.B. in den Ozeanen zu lagern. Das Eisendüngungsexperiment der ‚Polarstern‘ im Jahre 2009, das zu diesem Zweck gezielt das Algenwachstum stimulieren sollte und eine größere Medienaufmerksamkeit geweckt hatte, stand in diesem Zusammenhang, brachte jedoch eher ernüchternde Ergebnisse.

Von den klassischen Ansätzen zum Umgang mit dem Klimawandel (Adaptation und Mitigation) unterscheidet sich das ‚Climate Engineering‘ durch einen prinzipiell anderen Blick auf das Klimasystem: dieses wird „als Ganzes“ mit den Augen des Ingenieurs betrachtet, es werden „Stellschrauben“ gesucht (z.B. Aerosole und ihre Konzentration), mit denen technisch auf das Klima eingewirkt werden soll. Damit wäre das Climate Engineering alles andere als ein ‚sanfter‘ Eingriff in natürliche Abläufe, sondern eine massive großtechnische Intervention. In diesem Kontext ist nicht erstaunlich, dass die Idee des Climate Engineering bereits in den 1990er Jahren von Edward Teller aufgebracht wurde, dem Vater der Wasserstoffbombe, die ebenfalls ein großtechnisches Vorhaben war.

Die drei genannten Optionen sind in vielen Hinsichten sehr verschieden, gemeinsam ist ihnen nur das hohe Maß

an Nichtwissen und Unsicherheit über ihren Einsatz und ihre Folgen. Die „Spiegel im Weltraum“ gelten als futuristisch, sie würden ein hohes Maß an Raumfahrt benötigen, bedürften einer längeren Entwicklungszeit und wären mit Sicherheit sehr teuer. Die Möglichkeiten, der Atmosphäre Kohlendioxid zu entziehen, müssten großflächig eingesetzt werden und würden trotzdem nur langsam wirken. Bis man weiß, ob und wie gut sie wirken, wäre es möglicherweise zu spät.

Was bleibt, wenn die Beseitigung der Ursachen des Klimawandels durch Verringerung der Treibhausgasemissionen unrealistisch wird, und die Anpassung an den Klimawandel dadurch vor unlösbare Probleme gestellt wird?

So konzentrieren sich die meisten Überlegungen auf die Option, die Zusammensetzung der Atmosphäre gezielt so zu verändern, dass ein Kühlungseffekt eintritt. Durch das Einbringen von ca. einer Million Tonnen Sulfat-Aerosole in obere Atmosphärenschichten könnte, so die Modellrechnungen, ein beachtlicher Kühlungseffekt erzielt werden, der praktisch sofort eintreten würde. Allerdings würden die Aerosole aufgrund der Gravitation allmählich zum Boden sinken, so dass sie nach einer gewissen Zeit, man rechnet mit einigen Jahren, erneut ausgebracht werden müssten. Die „Dosis“ könnte dann jeweils neu eingestellt werden, da der Kühlungseffekt in erster Näherung proportional zu der erreichten Aerosolkonzentration wäre.

Die Aerosole können mit einer Flotte von Flugzeugen ausgebracht werden, was im Prinzip mit heutiger Technologie möglich ist. Erste allerdings sehr grobe Kostenschätzungen belaufen sich auf Kosten von einigen Milliarden Dollar pro Jahr – was verglichen mit prognostizierten Kosten der Anpassung an den Klimawandel ausgesprochen wenig ist. Erheblich schwieriger sähe eine Umsetzung dieser Option aufgrund ungeklärter rechtlicher Fragen aus. Es ist unklar, auf welcher politischen Ebene eine Entscheidung über eine derartige zweifel- frei global wirkende Technologie getroffen werden könnte, und wie mit divergierenden Interessen umgegangen werden soll.

Von diesen politisch-rechtlichen Fragen abgesehen, erscheint die Sulfat-Option eine verblüffend einfache Lösung des Klimawandels zu ermöglichen:

führen die menschlich verursachten Treibhausgase zu einer Erwärmung, so könnten die Sulfate das probate Gegenmittel sein, das den Erwärmungseffekt durch einen Kühlungseffekt kompensiert. So einfach ist die Situation jedoch nicht.

3. Risiken und Gegenargumente

Das Klimasystem technisch als Ganzes gezielt zu beeinflussen, würde eine weitere Ausweitung der Handlungsmacht des Menschen bedeuten und damit ganz auf der Linie des seit Jahrhunderten andauernden technischen Fortschritts liegen. Die Erfahrung hat jedoch oft genug gezeigt, dass die dadurch ermöglichte Emanzipation von der Natur eine Kehrseite hat: nicht intendierte Folgen und Risiken. Wachsen die Herrschaft des Menschen über die Natur und seine Eingriffsmöglichkeiten weiter, so wachsen auch Größe, Auswirkungen und Reichweite möglicher Risiken. Und würde die historische Erfahrung, dass jede Technik auch nicht intendierte Folgen hat, nicht auch für Optionen des Climate Engineering gelten? Wer sagt, dass diese Technologie, die nicht intendierte Folgen bisheriger Technik kompensieren soll, nicht selbst wieder nicht intendierte und nicht vorhergesehene, vielleicht auch nicht vorhersehbare Folgen haben wird? Dieser Gedanke ist kein Argument per se gegen das Climate Engineering, macht aber deutlich, dass „der Einsatz steigt“ – und dass damit auch die Verantwortung zunimmt.

Zu möglichen nicht intendierten Folgen und Risiken des Climate Engineering ist zurzeit noch wenig Konkretes zu sagen, einfach aufgrund von mangelndem Wissen. Folgende Risikobereiche können unterschieden werden:

- **Risiken der vorbereitenden Experimente:** Experimente sind notwendig, um die Wissensdefizite zu beheben. Zumindest einige dieser Experimente müssten in der realen Atmosphäre gemacht und hinreichend großskalig ausgelegt werden, um daraus lernen zu können. Bereits diese Experimente könnten ungewollte und möglicherweise nicht auf einen kleinen Bereich beschränkte Folgen haben.
- **Risiken im Betrieb:** Durch einige der vorgeschlagenen Climate Engineering Maßnahmen, wie z.B. das Einbringen von Aerosolen, wird die Zusammensetzung der Atmosphäre gezielt verändert. Es könnten z.B. kleine Veränderungen in der Spektralverteilung des auf der Erdoberfläche ankommenden Lichts unerwartete biologische Effekte auslösen, das allmähliche Absinken der Aerosole zum Boden könnte ökologische Probleme verursachen, z.B. die in der Diskussion befindlichen Sulfate eine Versauerung der Böden, oder es könnte zu unvorhergesehenen Klima- effekten kommen. Angesichts der langen Zeit, über die ein Climate Engineering aufrechterhalten werden müsste (Jahrhunderte oder Jahrtausende), sind derartige Szenarien sorgfältig zu prüfen. Bei anderen Maßnahmen wie z.B. der Kohlendioxid-Extraktion aus der Atmosphäre sind entsprechend andere Risiken zu bedenken, die z.B. mit der langfristig sicheren Lagerung oder mit Eingriffen in die Mikrobiologie der Ozeane zu tun haben.
- **Risiken aufgrund eines Betriebsabbruchs:** Wenn der Betrieb eines globalen Climate Engineering Systems vorübergehend für längere Zeit eingestellt oder ganz abgebrochen werden müsste, z.B. aufgrund gesellschaftlicher Entwicklungen wie mangelnder Ressourcen oder eines Krieges, oder

aufgrund erst später erkannter negativer Umweltfolgen, würde der Kühlungseffekt ganz schnell nachlassen und es käme zu einem raschen Ansteigen der Erdmitteltemperatur. Dies würde große Teile der Menschheit vor erhebliche Herausforderungen stellen, zumal Anpassungsmaßnahmen Zeit benötigen, die dann wohl nicht vorhanden wäre.

• **Risiken im politischen Prozess:** Climate Engineering erfordert, weil es eine globale Technologie mit globalen Folgen wäre, eine ‚Global Governance‘. Da es jedoch wie beim politischen Umgang mit dem Klimawandel Gewinner und Verlierer gibt, kann es zu politischen Konflikten kommen, etwa durch das Vorpreschen einzelner wirtschaftlich mächtiger Staaten, oder zu Entscheidungsblockaden aufgrund unterschiedlicher Interessen.

• **Risiko durch Missbrauch:** Ob Climate Engineering auch für terroristische oder militärische Zwecke ge- bzw. missbraucht werden könnte, hängt von den spezifischen Technologien ab. Generell jedoch sind Missbrauchsbedürfnisse keine starken Argumente gegen die Technologie per se, sondern eher Appelle bzw. Verpflichtungen, durch die Gestaltung von Climate Engineering und sorgfältiger Überwachung entsprechenden Möglichkeiten vorzubeugen.

• **Risiko durch Technikgläubigkeit:** Das vermutlich größte Risiko des Climate Engineering könnte jedoch ein psychologisches sein. „Climate Engineering“ könnte dazu verleiten, Vermeidungsstrategien mit weniger Ernst zu verfolgen, könnte gar eine Haltung des „Weiter so“ in Bezug auf die Nutzung fossiler Energieträger motivieren und Umsteuerungsstrategien zu einer nachhaltigen Energieversorgung konterkarieren. Die Autobauer z.B. könnten den Systemwandel hinausschieben und die Energieversorgungsunternehmen bräuchten nicht über CO₂-arme Kraftwerke nachzudenken. Das größte Risiko der Kommunikation ist, dass eine neue Sorglosigkeit im blinden Vertrauen auf technische Lösungen einzieht, dass Vermeidungsstrategien es schwerer haben können, und dass daraus, wenn die Climate Engineering-Maßnahmen nun doch nicht funktionieren oder inakzeptable Nebenwirkungen haben, eine ganz üble Situation entstehen kann.

In Risiküberlegungen zum Climate Engineering ist die Angabe quantitativer Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadensgrößen aufgrund von Wissensdefiziten bislang nicht möglich. Selbst wenn quantitative Risikomaße als Produkte aus extrem großen Zahlen (möglichen Schadenswerten) und extrem kleinen Zahlen (Eintrittswahrscheinlichkeiten) verfügbar wären, könnte mit Recht bezweifelt werden, ob ein derartiger Zugang moralisch vertretbar wäre, oder ob nicht die bloße Möglichkeit eines extrem großen Schadens Argument genug wäre, auf die Technologie zu verzichten, unabhängig von einer noch so kleinen Eintrittswahrscheinlichkeit. Ein gewisses Vorbild ist hier die Kernenergie-debatte, in der immer wieder der Sinn von quantitativen Risikoangaben in Zweifel gezogen wurde. Kritiker argumentierten, allein die schiere Größe eines möglichen Schadens im GAU-Fall legitimiere eine Zurückweisung. Im – damit sicher nur schlecht vergleichbaren – Climate Engineering scheint die Situation in einer Hinsicht noch dramatischer zu sein: der Schaden durch einen Kernenergie-Unfall dürfte selbst im GAU-Fall regional bleiben, verglichen



Diesen Globus in einer Fabrik zu fertigen dauert nur einige Stunden und ist für die Mitarbeiter dort Routine. Die

richtige Erde zu kühlen dagegen ist ein Projekt, das Wissenschaftler vor große Herausforderungen stellt.

Foto: kna

mit einem globalen Schaden einer unvorhergesehenen Negativfolge von Climate Engineering.

So wird denn auch wieder von menschlicher Hybris gesprochen. Climate Engineering liege in der Tradition einer Reihe von großtechnischen Eingriffen, die eine Art von Maßlosigkeit und Vermessenheit darstellen, die sich rächen werden. Der Mensch schwinde sich durch Climate Engineering zur Rolle eines Weltingenieurs auf, die ihm nicht zustehe. Zwar sind diese Positionen eher Befindlichkeiten und Besorgnisse denn Argumente; dennoch machen sie darauf aufmerksam, dass sich hier Herausforderungen in Bezug auf menschliche Verantwortung stellen.

4. Verantwortung

Diese Situation könnte zu einer Renaissance des „Prinzip Verantwortung“ von Hans Jonas führen. Nach Jonas darf „das Ganze“ nicht zum „Einsatz in einer Wette“ gemacht werden, wie er es formuliert hat, es dürfe nicht „das Ganze“ aufs Spiel gesetzt werden. Danach wäre zunächst zu klären, ob Szenarien

In Risiküberlegungen zum Climate Engineering ist die Angabe von quantitativen Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadensgrößen aufgrund von Wissensdefiziten bislang nicht möglich.

aufgrund von Risiken des Climate Engineering denkbar sind, die „das Ganze“ im Sinne von Jonas, also den Fortbestand menschenwürdigen Lebens auf der Erde, gefährden könnten. Wenn ja, dann dürfte nach Jonas das Climate Engineering nicht angewendet werden.

Allerdings kann der Schluss umgekehrt werden. Angenommen, wie in den düsteren Szenarien zu Beginn ausgemalt, dass die bisherigen und zukünftigen Maßnahmen der Mitigation und der Adaptation in keiner Weise ausreichen, um den Klimawandel erträglich zu halten, dann wäre der Einsatz von Climate Engineering ganz im Sinne von Paul Crutzen die „Ultima Ratio“, mit der „das Ganze“ noch gerettet werden könnte. In dieser Argumentation wäre es geradezu eine Pflicht, Technologien des Climate Engineering zu erforschen und anwendungsreif zu machen.

Diese Situation einer echten Aporie macht deutlich, dass eine Einschätzung der Verantwortbarkeit tiefer ansetzen muss. Wenn wir einmal die oben genannten möglichen Risiken des Climate Engineering als Negativargumente verstehen, sind in einer ethischen Abwägung aber auch die Positivargumente zu berücksichtigen. Hier lassen sich nach Konrad Ott anführen:

• **Ultima-Ratio Argument:** Climate Engineering sei die letzte „realistische“ Chance auf eine einigermaßen glimpfliche Bewältigung des Klimawandels. Climate Engineering, insbesondere das Aerosol-Verfahren, könnte eine Art ‚Notfalltechnologie‘ sein. Für den Fall, dass Vermeidungsstrategien nicht ausreichen, um das Klima in einem für Menschen verträglichen Bereich zu halten, oder im Fall plötzlicher unvorhergesehener systemischer Effekte, die eine erhebliche Beschleunigung des Klimawandels auslösen könnten, könnte ein rasch wirkendes „Climate Engineering“ möglicherweise katastrophale Entwicklungen verhindern oder abfedern helfen, zumindest für eine begrenzte Zeitspanne. Daher sei es gut, Technologien des Climate Engineering verfügbar zu haben, um sie im Notfall einsetzen zu können.

• **Optionenerweiterung:** durch Climate Engineering 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 selbst im Falle einiger nicht intendierter Folgen das kleinere Übel gegenüber einem ungebremsten Klimawandel sein.

• **Effizienzargument:** Das Climate Engineering, insbesondere die Aerosol-Option, sei ökonomisch viel effizienter und leichter umsetzbar als mühsame und volkswirtschaftlich teure Vermeidungs- oder Anpassungsstrategien oder als eine Umstellung der Volkswirtschaft oder gar eine Änderung von Lebensstilen

Einige dieser Argumente sind kombinierbar. So könnte z.B. die Sulfatoption als kurzfristige Maßnahme entwickelt werden, um katastrophale Folgen des Klimawandels zu verhindern, bis andere Maßnahmen, z.B. die Extraktion von Kohlendioxid aus der Atmosphäre zu wirken beginnen.

Nicht umsonst haben die Debatten um das „Prinzip Verantwortung“ und um das Vorsorgeprinzip angesichts der vielen Umweltkrisen Einstellungen motiviert, die man als „Neue Bescheidenheit“ bezeichnen könnte. Gerade in der Klimadebatte war diese Haltung bislang prägend. Die Vermeidung von Treibhausgasemissionen, aber auch Anpassungsmaßnahmen sind lokal oder regional, viele kleine Entscheidungen und Handlungen, die in ihrer Gesamtheit die gewünschten Effekte zur Bewältigung des Klimawandels erbringen sollen. Wenn einzelne davon scheitern, wäre dies bedauerlich und müsste von anderen Maßnahmen kompensiert werden, aber es wäre nicht katastrophal.

Dies ist beim Climate Engineering, jedenfalls in der Sulfat-Option, völlig anders. Es stellt sich hier die Frage, ob und in welcher Hinsicht sich hinter dem Climate Engineering – bzw. alleine mit der Tatsache, dass darüber zunehmend diskutiert wird – grundsätzlichere Fragen im Verhältnis von Mensch und Umwelt bzw. auch im Selbstverständnis des Menschen zeigen. Die Frage ist, ob die Phase der Bescheidenheit im Verhältnis des Menschen zur Natur, die als Reaktion auf die erkannten Umweltprobleme zumindest in einigen Teilen der Weltbevölkerung eingetreten ist, bereits wieder einem Ende entgegen geht. Das Climate Engineering stellt dem bescheidenen „mit der Natur leben“ eine möglichst vollständige Kontrolle über die Natur, hier in Form des Klimasystems, entgegen. Eine eventuelle Rückkehr von Macht- und Kontrollphantasien des Menschen birgt die Gefahr, dass Lektionen aus vergangenen Erfahrungen mit versuchter, aber erfolgloser Kontrolle wieder verloren gehen – und möglicherweise schmerzhaft neu gelernt werden müssten.

5. Was folgt?

Es ist vor dem Hintergrund der ökologischen Debatten der letzten Jahrzehnte keine Überraschung, dass die Betrachtung der Atmosphäre als ein System, das gezielt technisch gesteuert oder beeinflusst werden sollte, sofort Sorgen vor neuen und unbekanntem Nebenfolgen solcher Maßnahmen weckt. Anzeichen von Empörung sind zu erkennen, besonders bei Umweltengagierten, die von menschlicher Hybris reden und vor unkontrollierbaren Entwicklungen warnen. Aber Gigantomanie-Vorwürfe und Hybris-Befürchtungen sind Besorgnisse und Befindlichkeiten, aber nicht schon Argumente – das wäre erst zu prüfen.

Auf der Gegenseite sind das Ultima Ratio-Argument und das Argument der Optionenerweiterung ethisch relevant. Diese ernst genommen würde bedeuten, Optionen des Climate Engineering zu erforschen und zu entwickeln – aber nicht mit ihrem Einsatz zu rechnen. Sie dürften, weiter reicht das Argument nicht, wirklich nur in einem genauer zu definierenden „Notfall“ eingesetzt werden. Anderenfalls würde sich Bequemlichkeit breit machen, und zu Mitigationsanstrengungen wäre niemand mehr zu motivieren. Eine Analogie aus dem medizinischen Bereich: Wenn es eine Pille gibt, um eine Krankheit zu heilen, warum soll man dann mühsam seinen Lebensstil oder seine Ernährung ändern?

Diese Analogie macht auf die zentrale Problematik aufmerksam: hat die Menschheit genug Selbstdisziplin, um Climate Engineering wirklich nur „auf Vorrat“ zu erforschen und nur als „Ultima Ratio“ im Notfall einzusetzen – soweit könnte eine ethische Rechtfertigung reichen – oder droht hier nicht wieder eine blinde Technikgläubigkeit mit der Verlockung, mit Climate Engineering im Hintergrund so weitermachen zu können wie bisher? □