

Abb. 1: So könnte vielleicht eine klimaverträglichere Energieversorgung der Zukunft aussehen, die sich auch noch auf fossile Ressourcen stützen und alle technologischen Register ziehen würde: effiziente Energietechnologie, Wasserstoff als zusätzlicher „sauberer“ Sekundärenergieträger und die großtechnische Ablagerung des Kohlendioxids in der Tiefsee und in geologischen Formationen. (Quelle: Statoil)

Geoengineering – die technologische Gestaltung des Planeten Erde

Technischer Fortschritt verursacht nicht nur Probleme globalen Ausmaßes, sondern kann dem Menschen auch Mittel an die Hand geben, derartige Probleme zu lösen. Wenn sich der Klimawandel als ein Problem mit ernsthaften Folgen erweisen sollte, könnte es sinnvoll sein, das Klima auf der Erde gezielt mit technischen Maßnahmen – etwa schattenwerfenden Segeln im Weltraum – zu korrigieren. Solche Vorschläge, die wegen ihres globalen Ausmaßes als „Geoengineering“ bezeichnet werden, sind heftig umstritten. David Keith, der an der Carnegie ...

Mellon University in Pittsburgh „Engineering and Public Policy“ lehrt, beschreibt die Möglichkeiten eines solchen Geoengineerings und die Probleme, die mit solchen Verfahren verbunden sein könnten.

Menschen verändern die Welt. Zwar sind Veränderungen in globaler Größenordnung eine relativ neue Folge der industriellen Zivilisation, aber die Veränderung der Natur durch den Menschen ist ein altes Phänomen. Einige Veränderungen sind absichtlich, z. B. die Brandrodung der Ureinwohner, die dadurch die Landschaft an ihre Bedürfnisse anpassen, oder der Bau von Dämmen in der modernen Zeit, um den Lauf von Flüssen zu verändern und neue Seen zu schaffen. Andere Veränderungen sind Nebenwirkungen der Ressourcennutzung, etwa das Massensterben einheimischer Tiere, das durch die frühen Jäger in Australien und Nord- und Südamerika verursacht wurde, oder in neuerer Zeit die Gefahr einer Klimaveränderung durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe.

Zwar haben die Auswirkungen des Menschen inzwischen globale Ausmaße angenommen, aber ein absichtlicher Versuch zur Veränderung der Natur in der Größenordnung des Planeten steht noch aus. Ich nenne eine solche Veränderung „Geoengineering“ (Keith 2000) und meine damit eine absichtliche, großräumige Manipulation der Umwelt. Sowohl Größenordnung als auch Absicht sind hierbei wichtig. Nur wenn eine Veränderung der Umwelt das Ziel ist, also nicht etwa als Nebeneffekt auftritt, und nur wenn Absicht und Auswirkungen großräumig sind, spreche ich von Geoengineering. Zwei Beispiele sollen die Rolle von Größenordnung und Absicht verdeutlichen. Nehmen wir als erstes Absicht ohne Größenordnung: Die Gartengestaltung ist eine absichtliche Manipulation der Umwelt zur Anpassung an menschliche Bedürfnisse, aber dies fällt nicht unter den Begriff Geoengineering, denn weder der beabsichtigte noch der erzielte Effekt ist großräumig. Nehmen wir als zweites Größenordnung ohne Absicht: Die Klimaveränderung aufgrund zunehmender Kohlendioxidkonzentration hat zwar einen globalen Effekt, aber sie fällt ebenfalls nicht unter den Begriff Geoengineering, da sie ein Nebeneffekt ist, der aus

der Verbrennung fossiler Brennstoffe zur Energieerzeugung herrührt. Umweltverschmutzung, selbst wenn sie den Planeten verändert, ist kein Engineering, sondern einfach nur eine Schweinerei (Friedman 2000).

Derartige Manipulationen müssen nicht darauf abzielen, die Umwelt zu verändern; vielmehr kann mit ihnen auch die Absicht verfolgt werden, einen gewünschten Umweltzustand zu erhalten und vor natürlichen oder anthropogenen (menschlichen) Störungen zu bewahren. In der Tat wird der Begriff Geoengineering üblicherweise für Vorschläge verwendet, die Umwelt mit dem Ziel zu manipulieren, unerwünschte vom Menschen verursachte Klimaveränderungen zu verringern. Auch dieses Essay befasst sich vor allem mit klimatischem Geoengineering, das in erster Linie – aber nicht ausschließlich – darauf abzielt, kohlendioxidbedingte Klimaveränderungen entgegenzuwirken. In diesem Kontext impliziert Geoengineering, dass es eine Ausgleichsmaßnahme oder eine technische Lösung gibt, die durch einen vermehrten Einsatz von Technologie unerwünschten Auswirkungen begegnet, ohne deren Grundursachen zu beseitigen.

In diesem Beitrag beschreibe ich einige der Instrumente, die für das klimatische Geoengineering eingesetzt werden könnten, und vertrete den Standpunkt, dass der Einsatz dieser Instrumente mit dem Ziel, einer anthropogenen Klimaveränderung entgegenzuwirken, voreilig wäre. Ich rate dringend zur Vorsicht, nicht weil Geoengineering riskant ist – wengleich dies auf viele Vorschläge zweifellos zutrifft – und auch nicht weil es zu kostspielig oder praktisch nicht durchsetzbar ist. Vielmehr glaube ich, dass wir erst lernen müssen, die Auswirkungen des Menschen auf die Umwelt zu verringern, bevor wir uns an aktivem „Planetenmanagement“ versuchen. Ehe ich die Vorteile des Geoengineering darstelle, fasse ich einige der wichtigeren Methoden zusammen, die vorgeschlagen wurden, und mache deutlich, wie das Thema

Geoengineering in die Geschichte der Diskussionen über anthropogene Klimaveränderungen eingeflochten ist.

SONNENSCHIRME

Wenn wir die Menge des auf die Erdoberfläche auftreffenden Sonnenlichts verringerten, könnten wir – vielleicht – einen Kühleffekt auslösen, um der kohlendioxidbedingten Erwärmung entgegenzuwirken. Es wäre unter Umständen möglich, eine gewisse Abschattung zu erreichen, indem wir feine Partikel, so genannte Aerosole, in die Atmosphäre bringen, wo sie dann das Sonnenlicht in den Weltraum zurückstrahlen und auch die Lebensdauer und das Reflexionsvermögen der Wolken erhöhen könnten. (Das durchschnittliche planetare Reflexionsvermögen wird als „Albedo“ bezeichnet, daher nennt man derartige Methoden häufig Albedomodifikation.) Wir könnten auch gigantische Sonnenschirme im Weltall installieren, die das Sonnenlicht von der Erde ablenken. Da dies die ältesten und bekanntesten Geoengineering-Vorschläge sind, werde ich etwas näher auf sie eingehen.

Wie viele andere Instrumente des Geoengineerings ist der Einsatz von Aerosolen eine Nachahmung natürlicher Phänomene. Natürliche Aerosole strahlen bereits einen Teil des Sonnenlichts in den Weltraum zurück und modifizieren die Eigenschaften von Wolken. Aerosole, die von großen Vulkanen in die Stratosphäre abgegeben werden, können zu einer weltweiten Abkühlung führen. So geht man davon aus, dass der Ausbruch des Tambora in Indonesien das Jahr 1816 zu einem „Jahr ohne Sommer“ machte; auch der Ausbruch des Pinatubo auf den Philippinen im Jahr 1991 verursachte eine unmittelbar feststellbare Veränderung der weltweiten Temperaturen. In den Siebzigerjahren des 20. Jahrhunderts schlug Budyko vor, Schwefeldioxid in der Stratosphäre zu verteilen, das dort Aerosole bilden würde, die der weltweiten Erwärmung entgegenwirken würden. Er nannte das Verfahren „künstliche Vulkane“ (Budyko 1982).

Neben der Imitation natürlicher Prozesse betreffen die Geoengineering-Vorschläge oft Methoden, die schon bestehende Auswirkungen des Menschen nachahmen oder verstärken. Die Verbrennung von fossilen Brennstoffen, insbesondere Kohle, verursacht bereits große Mengen an Aerosolen. Menschliche Aktivitäten haben die globale Aerosolbelastung erheblich erhöht, die Lebensdauer und das Reflexionsvermögen der Wolken verändert und die Menge des von der Erde absorbierten Sonnenlichts beeinflusst. Möglicherweise gleicht der Kühleffekt der Aerosole, die auf die industrielle Umweltverschmutzung zurückzuführen sind, derzeit einen Teil der kohlendioxidbedingten Erwärmung aus.

Geoengineering kann demzufolge auch betrachtet werden als eine Verstärkung der Umweltverschmutzung, in diesem

Fall durch Aerosole, um den Auswirkungen eines anderen Schadstoffs – Kohlendioxid – entgegenzuwirken. Aber Geoengineering ist dennoch etwas anderes als Umweltverschmutzung. Es kommt auf die Absicht an. Das absichtliche Einbringen von technischen Aerosolen in die Stratosphäre oder der Einsatz von Lichtstreuungssystemen im Weltraum wäre technisch, institutionell und politisch etwas anderes als die Aerosolbelastung als Nebenprodukt der Verbrennung von Brennstoffen. Geoengineering kann unklug sein, aber es ist nicht dasselbe wie Umweltverschmutzung.

Es gibt eine überraschend reiche Geschichte an Vorschlägen, die globale Absorption des Sonnenlichts auf technischem Wege zu verändern. Bereits in den Sechzigerjahren des vergangenen Jahrhunderts, als das moderne Wissen über die problematischen Auswirkungen von Kohlendioxid auf das Weltklima noch in den Kinderschuhen steckte, wurde vorgeschlagen, durch eine Steuerung des Klimas mithilfe von Aerosolen oder anderen Methoden zur Änderung des Reflexionsvermögens der Erde die Auswirkungen steigender Kohlendioxidkonzentrationen auszugleichen. Die Erörterung von Geoengineering-Lösungen ist damit nicht nur ein vorübergehender Irrweg, sondern fester Bestandteil der Geschichte des Problemkreises Kohlendioxid und Klima. Nehmen wir zum Beispiel den Bericht „Restoring the Quality of Our Environment“ (Wiederherstellung der Qualität unserer Umwelt), der 1965 vom Science Advisory Committee des US-Präsidenten herausgegeben wurde. Dieser Bericht der wissenschaftlichen Berater des Präsidenten ist vermutlich die erste Beurteilung auf hoher Regierungspolitischer Ebene, in der die Auswirkungen des Kohlendioxids auf das Klima in zeitgemäßen Begriffen dargelegt wurde. Als einzige Reaktion auf eine kohlendioxidbedingte Klimaveränderung wird Geoengineering vorgeschlagen: „Die Möglichkeiten, absichtlich eine Ausgleichskraft für die klimatischen Veränderungen herbeizuführen, müssen daher gründlich erforscht werden.“ In dem Bericht wird angeregt, die Albedo durch die Verteilung von schwimmenden, reflektierenden Partikeln auf der Meeresoberfläche zu modifizieren. Die Verfasser kommen zu dem Schluss, dass „eine Veränderung des Reflexionsvermögens um 1% mit einem Kostenaufwand von etwa 500 Millionen Dollar jährlich erreicht werden könnte ... Angesichts der außerordentlichen Bedeutung des Klimas für die Wirtschaft und den Menschen scheinen Kosten dieser Größenordnung nicht übertrieben zu sein“ (President's Science Advisory Committee 1965). Interessanterweise wird die Möglichkeit, die Verbrennung fossiler Brennstoffe zu verringern, nicht erwähnt.

Der Einsatz von Aerosolen ist mit ernsthaften Risiken verbunden, darunter einer Veränderung der Chemie der Atmosphäre, was zu einem weiteren Abbau des stratosphärischen Ozons führen könnte. Die Rolle der natürlichen Aerosole bei der Herausbildung des Ozonlochs über der Antarktis ist eine Warnung: Sie verdeutlicht, wie empfindlich die Ozonkonzentrationen auf Aerosole reagieren. Abhängig

von der Größe der eingesetzten Partikel könnte die Aerosolschicht während des Tages einen erheblichen weißlichen Schimmer auf dem Himmel bewirken. Jüngere Forschungsarbeiten konzentrieren sich darauf, Partikel mit maßgeschneiderten Streueigenschaften und chemisch inertem Verhalten auszuwählen.

Pläne zur Modifikation des Klimas durch den Einsatz von Weltraumtechnologien sind Ausdruck eines enormen Vertrauens in das technologische Können des Menschen. Die spektakulärsten Vorschläge stammen vom Beginn des Weltraumzeitalters. In Russland, wo die Erforschung der Klimasteuerung damals oberste Priorität genoss, wurde in den Fünfzigerjahren vorgeschlagen, aus metallischen Aerosolen in einer Erdumlaufbahn „Saturnringe“ aufzubauen, die – davon ging man aus – den Norden Russlands mit Wärme und Licht versorgen oder die äquatornahen Regionen abschatten würden, um deren Bewohnern die Vorteile eines gemäßigten Klimas zu bieten.

Obwohl teuer, würde der Einsatz von Sonnenschirmen im Weltall eine „saubere“ Änderung der effektiven Solarkonstante ermöglichen. Auch die Nebenwirkungen wären sowohl geringer als auch vorhersehbarer als bei der Modifikation durch Aerosole. Wenn diese Schirme lenkbar wären, könnte ihre Wirkung gezielt aufgehoben werden. Außerdem könnte damit die Sonnenstrahlung in bestimmte Gebiete gelenkt werden, wodurch sich die Möglichkeit einer Steuerung des Wetters eröffnen würde. In den vergangenen Jahrzehnten haben sich die Vorschläge auf Weltraumsysteme konzentriert, die in einer stabilen Umlaufbahn auf einer Linie zwischen der Erde und der Sonne weit jenseits der Umlaufbahn des Mondes installiert würden. Nach einer neuen Konstruktion von Edward Teller und seinen Mitarbeitern (Teller, Wood u. a. 1997) könnte ein derartiger Schirm mit einer erheblich geringeren Masse hergestellt werden als bislang angenommen, wodurch sich auch die Kosten drastisch verringern würden. Zwar lägen die Kosten eines Weltraumschirms bei einer Billion US\$, aber die Kosten pro „Minderungseinheit“ wären wahrscheinlich niedriger als bei erdbasierten Technologien. Aber es ist unwahrscheinlich, dass die Kosten ein entscheidender Faktor sein werden. Der Einsatz eines solchen Systems würde eine neue Ära im Planetenmanagement einleiten. Dabei kann es durchaus sein, dass die Kosten in der unvermeidbaren Kontroverse nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Unabhängig davon, wie sie erreicht wird, kann eine Verringerung der Aufheizung durch die Sonne die kohlendioxidbedingte Erwärmung nicht vollkommen kompensieren, sodass mit Nebenwirkungen zu rechnen ist. Selbst wenn eine perfekte Kompensation der mittleren Oberflächentemperatur erreicht werden könnte, ist es immer noch möglich, dass das Klima erheblich verändert wird. So könnten geänderte Vertikal- und Breitenverteilungen der atmosphärischen Erwärmung sich auf das Klima auswirken. Allerdings

hat eine Untersuchung anhand eines Klimamodells vor kurzem gezeigt, dass diese Auswirkungen möglicherweise gering sind (Govindasamy und Caldeira 2000). Außerdem könnten sowohl die Zunahme der Kohlendioxidkonzentration als auch die Abnahme der sichtbaren Sonnenintensität erhebliche Konsequenzen für das Pflanzenwachstum haben. Diese Auswirkungen lassen sich nicht durch eine Manipulation der Sonnenstrahlung ausgleichen.

DIE STEUERUNG DES WETTERS

Nach dem Zweiten Weltkrieg brachte die erfolgreiche Demonstration der Impfung von Wolken – die Verteilung von Aerosolen aus Flugzeugen, um die Wolkenbildung anzuregen und Niederschläge auszulösen – die moderne Technologie mit dem alten Menschheitstraum zusammen, das Wetter beherrschen zu können. Getragen von der Technikbegeisterung der damaligen Zeit wurde die Klima- und Wettersteuerung zum Mittelpunkt der atmosphärischen Forschung in den Fünfziger- und Sechzigerjahren. Dem Forschungsinteresse an der Klima- und Wettersteuerung verdanken wir unser wissenschaftliches Verständnis des Zusammenhangs zwischen Kohlendioxidkonzentration und Klima. Die Probleme, die durch Kohlendioxidemissionen verursacht und heute als „globale Erwärmung“ oder „anthropogener Klimawandel“ bezeichnet werden, nannte man „unbeabsichtigte Klimamodifikation“, um sie von den damals in Betracht gezogenen absichtlichen Klimaveränderungen zu unterscheiden.

Das Interesse an der Steuerung des Wetters schwand in den Siebzigerjahren mit dem wachsenden Umweltbewusstsein und einer skeptischen Gegenreaktion auf den ungezügelt technologischen Optimismus der Nachkriegszeit. Außerdem stellte sich heraus, dass die Impfung von Wolken weniger wirksam war als ursprünglich behauptet.

Aber die Möglichkeit einer Steuerung des Wetters besteht weiterhin. Jüngste Fortschritte in der wissenschaftlichen Wettervorhersage haben unbeabsichtigt auch Instrumente hervorgebracht, die eine wirksame Wettersteuerung möglich machen könnten. Das wichtigste Instrument ist hierbei die Fähigkeit, Wettervorhersagemodelle auf effiziente Weise rückwärts ablaufen zu lassen, um die Auswirkungen geringfügiger Änderungen der atmosphärischen Parameter auf die Entwicklung von Wettersystemen zu beurteilen. Hierbei wird nicht das gesamte Modell zurückgespult, sondern es wird ein linearisiertes Modell generiert, das nur für geringe Störungen der vorwärts gerichteten Entwicklung des atmosphärischen Zustands gültig ist. Diese Instrumente werden in den heutigen modernen Wettervorhersagesystemen genutzt, um zu beurteilen, wie sich Fehler in den aktuellen Beobachtungen atmosphärischer Bedingungen auf die Genauigkeit der Vorhersage des Wetters in ein paar Tagen auswirken.

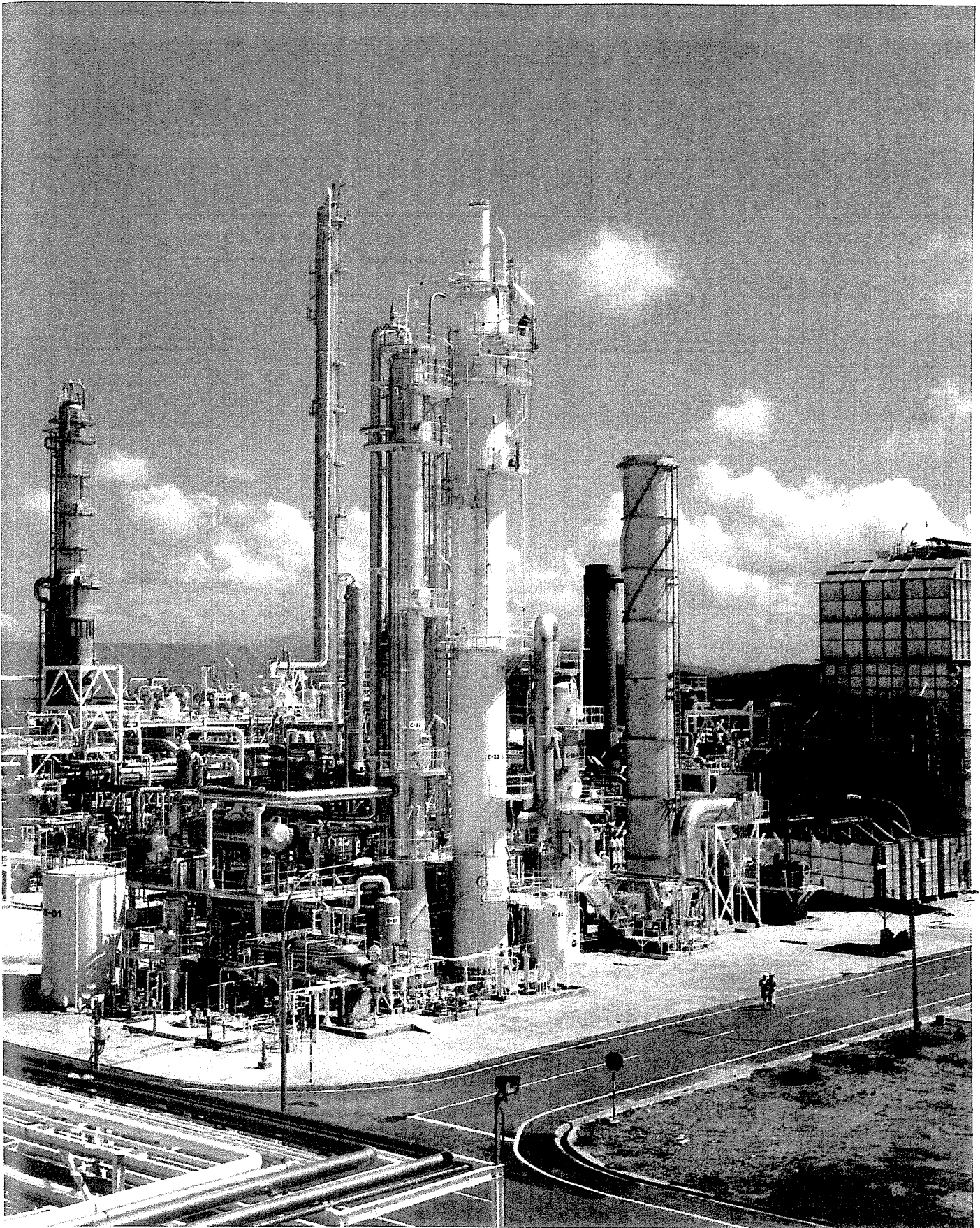


Abb. 2: Anlage zur Rückgewinnung von Kohlendioxid in einer chemischen Fabrik in Malaysia. Sie produziert seit Oktober 1999 Ammoniak und Harnstoff aus Erdgas und führt das aus dem Abgas abgetrennte Kohlendioxid wieder in den Herstellungsprozess ein. Rechts werden die Abgase zugeführt (großer grauer Turm), dann abgekühlt (kleiner Turm); im großen weißen Turm wird das Kohlendioxid bei Raumtemperatur

durch eine Aminverbindung absorbiert und dann durch Erhitzung auf 120°C wieder freigegeben (großer grauer Turm). Weltweit gibt es erst wenige derartige Anlagen. Hier wird das Kohlendioxid wiederverwendet anstatt deponiert. Der Prozess ist energieaufwändig und müsste effizienter werden, um auf großer Skala Verwendung zu finden. (Foto: Mitsubishi Heavy Industries)

Diese Fähigkeit könnte genutzt werden, um ein System für die Wettersteuerung aufzubauen. Dabei nutzt man ein paradoxes Merkmal chaotischer Systeme (Hoffman 2002). Wir gehen häufig davon aus, dass Chaos die Dinge schwer steuerbar macht. Aber das entscheidende Kennzeichen chaotischer Systeme ist die extreme Sensitivität gegenüber den Anfangsbedingungen – der berühmte Schlag eines Schmetterlingsflügels in Brasilien, der einen Tornado in Texas auslöst. Es ist diese Empfindlichkeit, die es so schwer macht, vorherzusagen, wie sich ein chaotisches System verhalten wird, denn jeder Fehler in der Bestimmung der Ausgangslage des Systems wird rapide verstärkt. Genau das passiert auch, wenn man ein Wettermodell vorwärts ablaufen lässt, um das zukünftige Wetter auf der Grundlage der aktuellen Beobachtungen vorherzusagen. Dieselbe Sensitivität gegenüber den Anfangsbedingungen kann auch eine dynamische Steuerung der Entwicklung des Systems möglich machen, da geringfügige absichtlich herbeigefügte Störungen erheblich verstärkt werden können, um eine Steuerung der zeitlichen Entwicklung des chaotischen Systems zu ermöglichen – sofern ausreichend genaue Modelle und Beobachtungsdaten vorliegen.

Wenn atmosphärische Modelle und Messungen die Software der Wettersteuerung sind, dann besteht die Hardware aus den Instrumenten, die für die Manipulation der atmosphärischen Bedingungen eingesetzt werden. Am einfachsten können die atmosphärischen Bedingungen dadurch manipuliert werden, dass die Höhe oder der Kurs von Verkehrsflugzeugen geändert wird, die sich bereits durch das Erzeugen von Zirruswolken auf die Erwärmung der Atmosphäre auswirken. Die Manipulation kann auch durch die Impfung von Wolken erfolgen oder am spektakulärsten durch Weltraumsysteme, die die solare Infrarotstrahlung umlenken, um die Atmosphäre oder die Erdoberfläche selektiv zu erwärmen. Durch bessere Messungen der atmosphärischen Bedingungen in Verbindung mit besseren Modellen der Erdatmosphäre könnten kleinere Hebel eingesetzt werden, um eine bestimmte Dimension der Wettersteuerung zu erzielen. Bessere Software ermöglicht somit den Einsatz von weniger Hardware.

Der offensichtlichste Nutzen der Wettersteuerung ist die Möglichkeit, die Auswirkungen schwerer Unwetter auf das menschliche Wohlergehen zu verringern. Aber eine länger anhaltende Wettersteuerung ist eine Form der Klimasteuerung. Wirksame Wettersteuerung könnte es uns zum Beispiel ermöglichen, subtile Veränderungen der atmosphärischen Wärmeströmungen zu bewirken, die die klimatischen Bedingungen verändern würden. Wie andere Methoden des Geoengineering könnte diese Fähigkeit genutzt werden, um das Klima den Wünschen des Menschen anzupassen oder klimatischen Veränderungen entgegenzuwirken, die auf andere Ursachen zurückzuführen sind.

DAS EINFANGEN DES KOHLENDIOXIDS AUS DER LUFT

Physikalisch ist es möglich, Kohlendioxid direkt aus der Luft einzufangen und in geologischen Strukturen zu binden. Derzeit existieren zwar noch keine Technologien, mit denen dies in großem Maßstab und zu vertretbaren Kosten möglich ist. Aber mehrere starke Argumente sprechen dafür, dass innerhalb weniger Jahrzehnte praktikable Einfangtechnologien entwickelt werden können und dass langfristig die Kosten für das Abscheiden von Kohlendioxid aus der Luft mit denen anderer Methoden vergleichbar sind, die einschneidende Verringerungen der Netto-Kohlendioxidemissionen bewirken.

Das Einfangen aus der Luft kann als Kreuzung von zwei miteinander verwandten Ideen angesehen werden. Die erste betrifft die Möglichkeit, die atmosphärischen Emissionen von Kohlendioxid bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe zu minimieren, indem der in fossilen Brennstoffen enthaltene Kohlenstoff bei der Erzeugung kohlenstofffreier Energieprodukte wie Elektrizität oder Wasserstoff aufgefangen und das resultierende Kohlendioxid fixiert und von der Atmosphäre isoliert wird (Parson und Keith 1998). Das Einfangen aus der Luft beinhaltet die langfristige Lagerung von Kohlendioxid, aber anders als beim Herausfiltern an Kraftwerken wird hierbei das Kohlendioxid direkt aus der Atmosphäre entfernt. Das bedeutet, dass damit die globale Konzentration in der Atmosphäre manipuliert wird und nicht der Abgasstrom von großen feststehenden Quellen wie Kraftwerken. Die zweite Idee betrifft die Manipulation von terrestrischen oder ozeanischen Kohlenstoffreservoirs, die weiter unten noch näher behandelt wird. Ebenso wie bei biologischen Kohlenstoffreservoirs wird auch beim Einfangen aus der Luft das Kohlendioxid aus der Atmosphäre entfernt, allerdings durch großmaßstäbliche industrielle Prozesse und nicht durch Veränderungen der Landnutzung. Das Einfangen bietet zudem die Möglichkeit einer fast dauerhaften Fixierung des Kohlenstoffs.

Sowohl das Einfangen von Kohlendioxid aus der Atmosphäre als auch das Abfiltern an Kraftwerken erfordert eine Methode, um Kohlendioxid zu fixieren und über längere Zeiträume sicher von der Atmosphäre zu isolieren. Kurzfristig ist die vielversprechendste Lösung das Einblasen von Kohlendioxid in tiefe geologische Reservoirs. Generell wird dies dadurch erreicht, dass Kohlendioxid in einer Tiefe von mehr als etwa einem Kilometer in poröse Sedimentformationen eingeblasen wird, wobei Bohr- und Einspritztechniken zum Einsatz kommen, die in der Öl- und Erdgasindustrie entwickelt wurden. Dort werden schon heute große Mengen Kohlendioxid eingeblasen, um die Restölgewinnung zu verbessern. Industrielle Erfahrungen mit verbesserter Restölgewinnung und die Beseitigung von kohlendioxidreichen Sauer gasströmen – sowie entsprechende Erfahrungen mit Erdgaslagern und der unterirdischen Entsorgung anderer Abfälle – erlauben ein gewisses Vertrauen

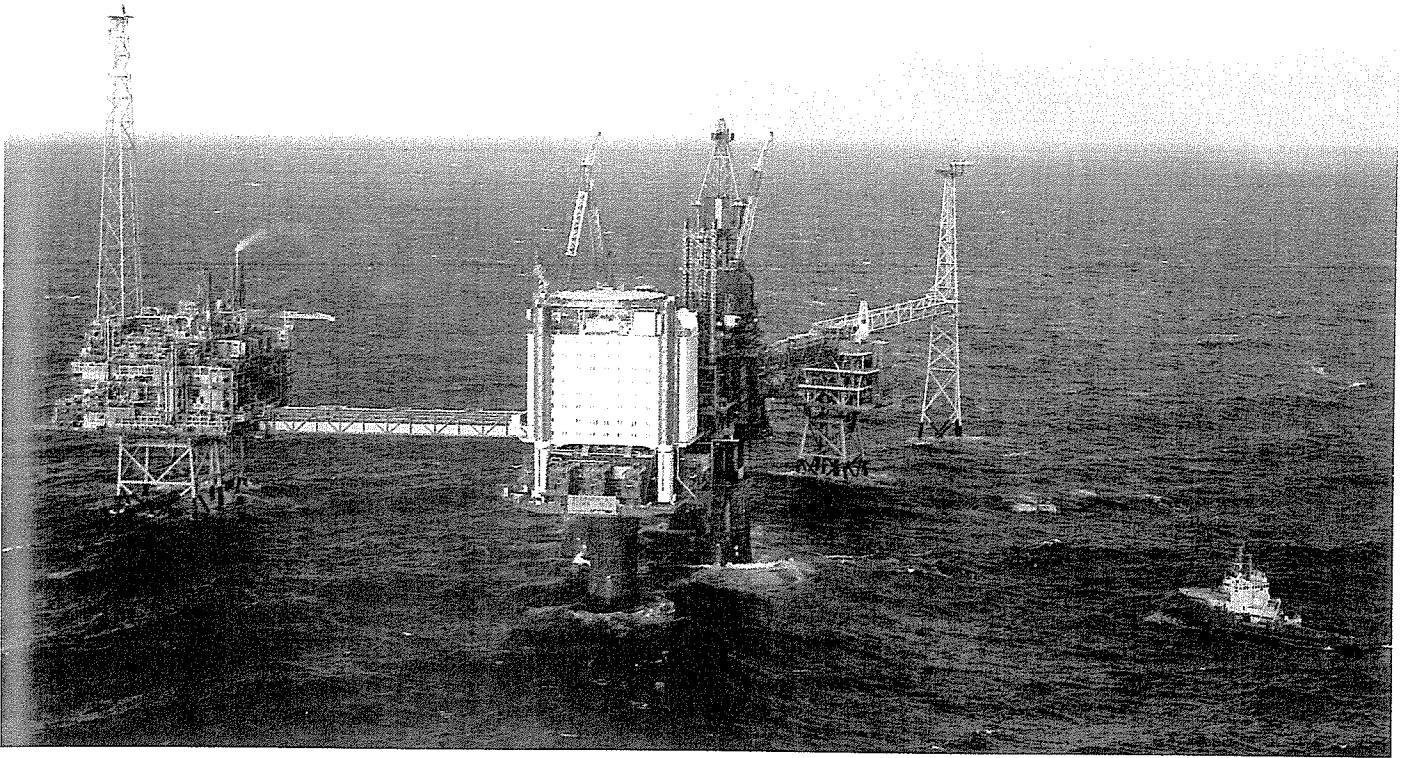


Abb. 3: Die Sleipner-Plattform rund 240 km vor der norwegischen Küste. Erstmals wird hier in großem Stil die Tief Lagerung von Kohlendioxid erprobt. Die Bohrplattform in der Mitte fördert Erdöl und Erdgas. Um den Kohlendioxidanteil im Erdgas von 9% für den Endkunden auf maximal 2,5% zu reduzieren, wird das Kohlendioxid auf der linken

T-Plattform (Treatment) in zwei „Kontakttürmen“ durch Amin chemisch absorbiert, abgetrennt und anschließend in die Tiefe verpresst. Üblicherweise entweicht das überschüssige Kohlendioxid bei der Erdgasförderung in die Atmosphäre. (Foto: Statoil)

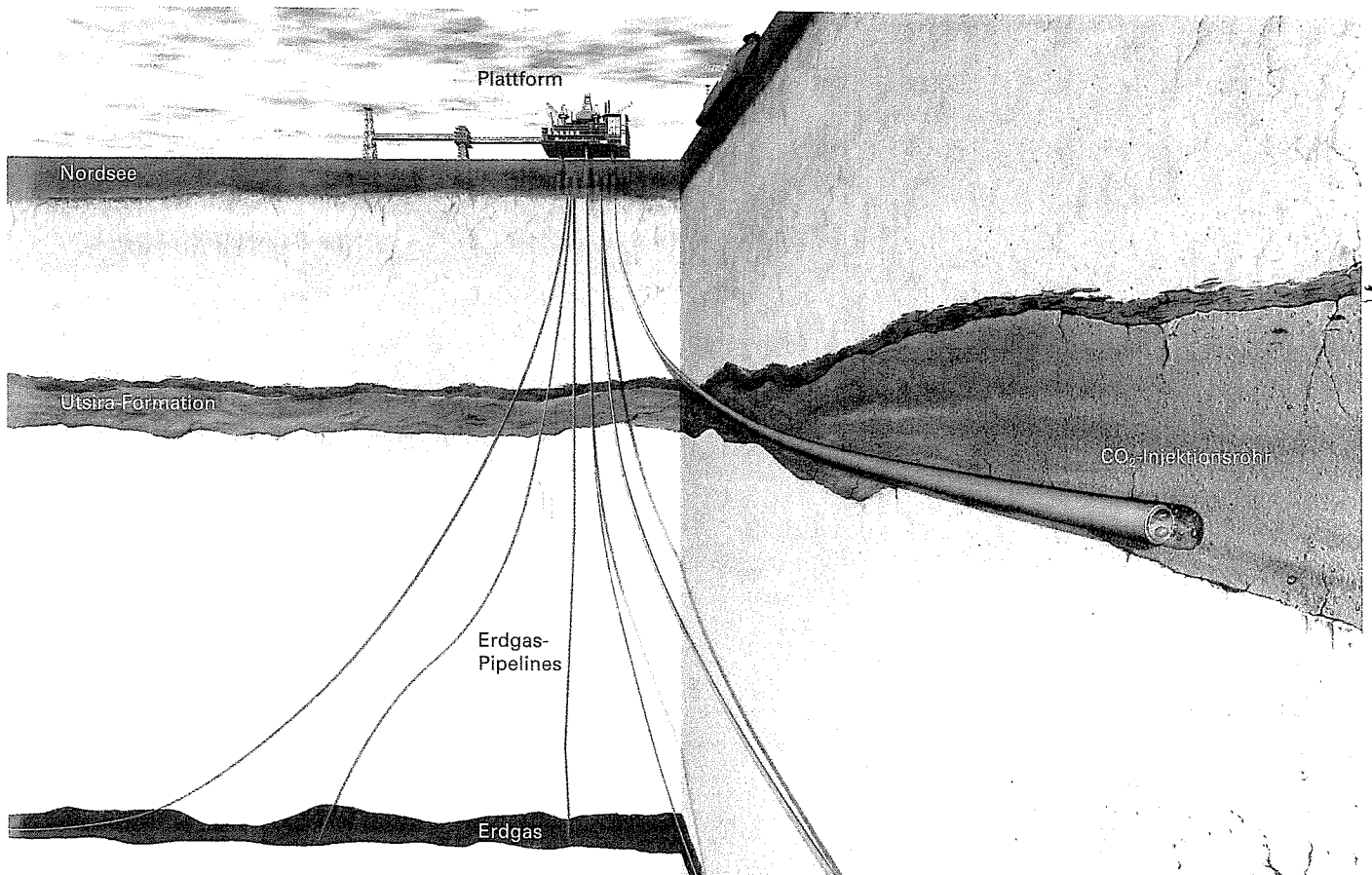


Abb. 4: Das Kohlendioxid wird verdichtet und in die Utsira-Formation, eine 200 m dicke Sandsteinschicht etwa 1 km unter dem Meeresgrund, gepumpt. Es verdrängt dort das ursprüngliche Salzwasser. Die Techno-

„umgekehrt“. Derzeit untersucht man, wie sich das injizierte Kohlendioxid in den Schichten ausbreitet und wie lange es dort bleibt. (Grafik: Statoil)

in die Schätzungen der Kosten dieser Technologien und legen den Schluss nahe, dass das Gesamtrisiko gering sein könnte. Zwar herrscht weitgehend Übereinstimmung darüber, dass Kohlendioxid in sedimentären Reservoiren für mehr als tausend Jahre gespeichert werden kann, aber es fehlt noch an robusten Methoden für die Vorhersage der unterirdischen Lebensdauer von Kohlendioxid oder die Beurteilung der Risiken, die mit einer Kohlendioxid-Deposition verbunden sind.

Wenn nachgewiesen werden kann, dass ein Abscheiden von Kohlendioxid aus der Atmosphäre im Industriemaßstab möglich ist, kann diese Methode eine wichtige Rolle in der Klimapolitik spielen. Sie würde nämlich eine feste Obergrenze für die Kosten der Maßnahmen zur Verringerung der Kohlendioxidemissionen vorgeben. Da beim Einfangen aus der Luft die Emissionen aus allen Bereichen der Wirtschaft mit derselben Leichtigkeit oder Schwierigkeit entfernt werden, würden die Kosten dieses Verfahrens gleichzeitig das Maximum dessen definieren, was für Maßnahmen zur Verringerung ausgegeben würde, und zwar so generell, wie es mit keiner anderen Minderungstechnologie möglich ist. Da das Einfangen aus der Luft außerdem die Beseitigung von Kohlendioxid direkt nach der Emission erlaubt, kann dadurch eine schnellere Verringerung der Konzentration erreicht werden als durch den natürlichen Kohlenstoffkreislauf, sodass eine vergleichsweise schnelle Rückkehr zu den vorindustriellen Kohlendioxidkonzentrationen möglich wäre, wenn zukünftige Generationen die Kosten einer solchen Verringerung zu tragen bereit sind. Die Kohlendioxidabscheidung aus der Atmosphäre ist eine Form des Geoengineerings, weil sie direkt die Biosphäre modifiziert und mit dem Ziel implementiert würde, ein Gegengewicht zu anderen Handlungen des Menschen zu schaffen.

MANIPULATION VON BIOLOGISCHEN KOHLENSTOFF-RESERVOIREN

Die großen natürlichen Kohlenstoffströme zwischen der Atmosphäre und der terrestrischen Biosphäre in Verbindung mit unserer Kontrolle der terrestrischen biotischen Produktivität gibt uns einen wirksamen Hebel für die Manipulation der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre an die Hand. Vorschläge, diesen Hebel zum Ausgleich der Kohlendioxidemissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe zu nutzen, sind ungefähr so alt wie unser modernes Wissen über den Zusammenhang zwischen Kohlendioxid und dem Klima. Viele unterschiedliche Methoden sind hierzu vorgeschlagen worden, darunter Wiederaufforstung und Steigerung des Kohlenstoffgehalts von landwirtschaftlich genutzten Böden.

Es könnte ebenfalls möglich sein, den Kohlenstoffstrom in die Weltmeere zu manipulieren, indem die „biologische

Pumpe“ gedüngt wird, die das Ungleichgewicht zwischen der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre und der Tiefsee aufrechterhält. Es ist bereits vorgeschlagen worden, Stickstoff und Phosphor als Nährstoffe auszubringen, um Kohlenstoffbindung durch pflanzliches Wachstum zu fördern. Am erfolgversprechendsten scheint aber die Eisendüngung zu sein, da das Verhältnis von Eisengabe und Kohlenstofffixierung sehr hoch ist (Abbildungen 7 bis 9). Eisendüngeversuche haben eine drastische Zunahme in der ozeanischen Produktivität bewirkt und Untersuchungen haben gezeigt, dass die biologische Produktivität über beträchtliche Flächen hinweg durch das vorhandene Eisen begrenzt wird. Zwar ist eine Steigerung der Oberflächenproduktivität möglich, aber eine Zunahme des Kohlenstoffstroms in die Tiefsee ist höchst unwahrscheinlich. Modellversuche zeigen, dass selbst bei größtmöglicher Eisendüngung der Kohlenstoffstrom nicht mehr als ein Fünftel der derzeitigen anthropogenen Emissionen betragen würde. Außerdem sind bei der Größenordnung der erforderlichen Veränderung der ozeanischen Biochemie erhebliche Nebenwirkungen wahrscheinlich.

Ist die Manipulation von biologischen Reservoiren eine Form des Geoengineerings? Nur wenige würden bestreiten, dass die Düngung der Ozeane unter die Kategorie Geoengineering fällt. Den Ausbau der terrestrischen Reservoire hat man dagegen als „grün“ und „Low Tech“ angesehen, was in scharfem Gegensatz zu Geoengineering steht. Die Idee hat sowohl in der Industrie als auch bei den Umweltschützern zahlreiche Anhänger gewonnen. Aber wenn sie in dem Umfang umgesetzt würde, der erforderlich wäre, um einen signifikanten Bruchteil der Emissionen aufzufangen, würde die terrestrische Fixierung von Kohlendioxid einen umwelttechnischen Eingriff planetarer Größenordnung darstellen und könnte durchaus High-Tech-Methoden wie die genetische Veränderung von Feldfrüchten einbeziehen. Die unterschiedliche Behandlung von terrestrischen und ozeanischen Reservoiren ist ein Beispiel dafür, wie wenig konsequent die Frage des Engineerings in der Größenordnung des gesamten Planeten durchdacht wird. In Standardberichten wie denen des Intergovernmental Panel on Climate Change wird die Erweiterung der terrestrischen Reservoire als zentrales Instrument der Verringerung der Kohlendioxidbelastung beschrieben, während die Erweiterung der ozeanischen Reservoire nur als Vorschlag am Rande behandelt und als Geoengineering klassifiziert wird.

Vergleichen wir einmal die Manipulation der biologischen Reservoire mit dem Einfangen und Fixieren der Kohlendioxidemissionen aus Kraftwerken. Der Begriff Geoengineering wurde in den Siebzigerjahren des vergangenen Jahrhunderts geprägt, um das Einblasen von Kohlendioxid aus Kraftwerken in die Tiefsee zu beschreiben. Trotz dieser Etymologie ist es unklar, ob das Einfangen aus industriellen Systemen zu Recht als Geoengineering bezeichnet wird. Es ist sicherlich eine End-of-Pipe-Lösung, d. h. eine Technolo-

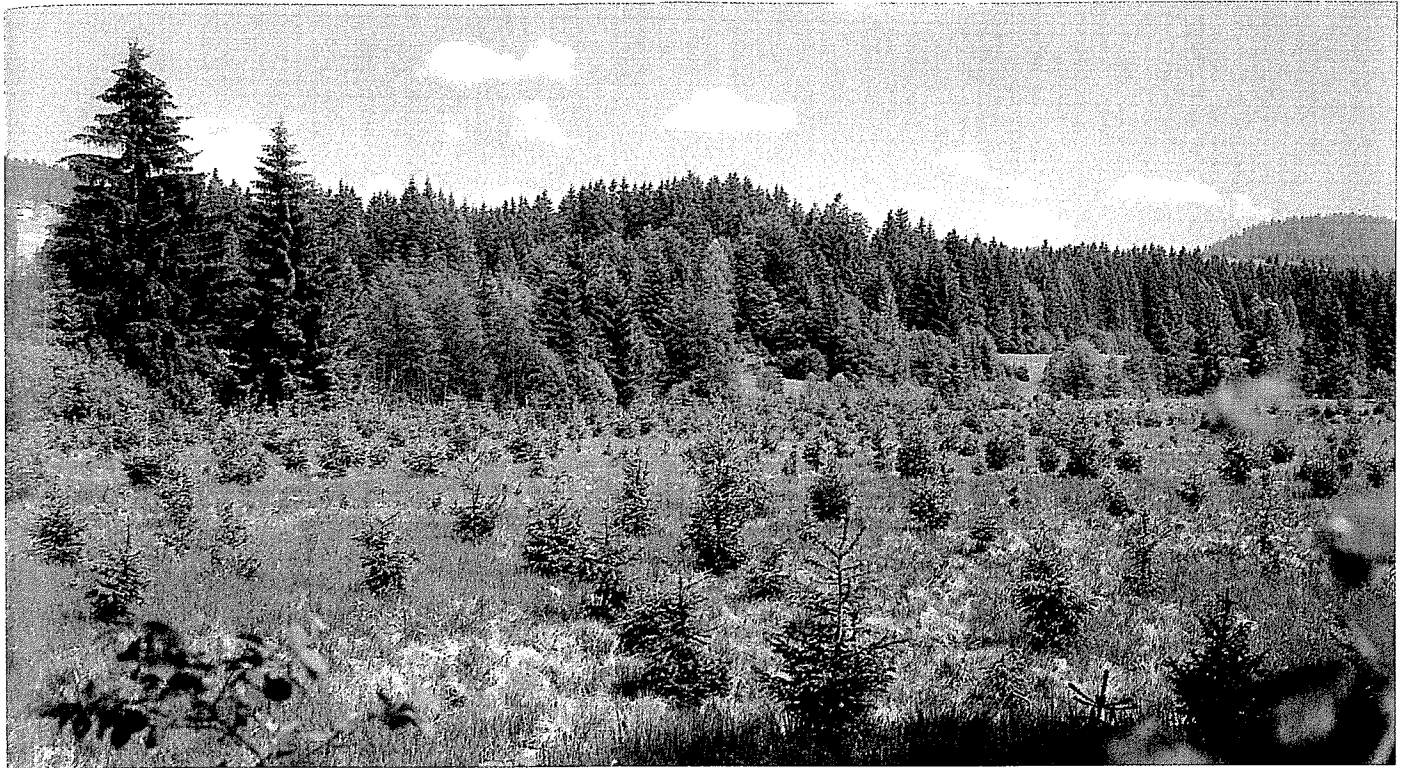


Abb. 5: Fichtenaufforstung im Reschbachtal. Großflächige Aufforstungen und Wiederbewaldung werden als Maßnahmen zur Bindung von Kohlendioxid (in „Senken“) diskutiert. Zwei Optionen einer nachhaltigen Forstwirtschaft bieten sich an: Nachwachsendes Holz wird verstärkt als kohlendioxidneutraler Energieträger verwendet oder man

benutzt Holz als Baumaterial, das weniger energieaufwändig ist als Metall und Beton und den im Holz gebundenen Kohlenstoff langfristig bindet. (Foto: Lehrstuhl für Landnutzungsplanung und Naturschutz, TU München)

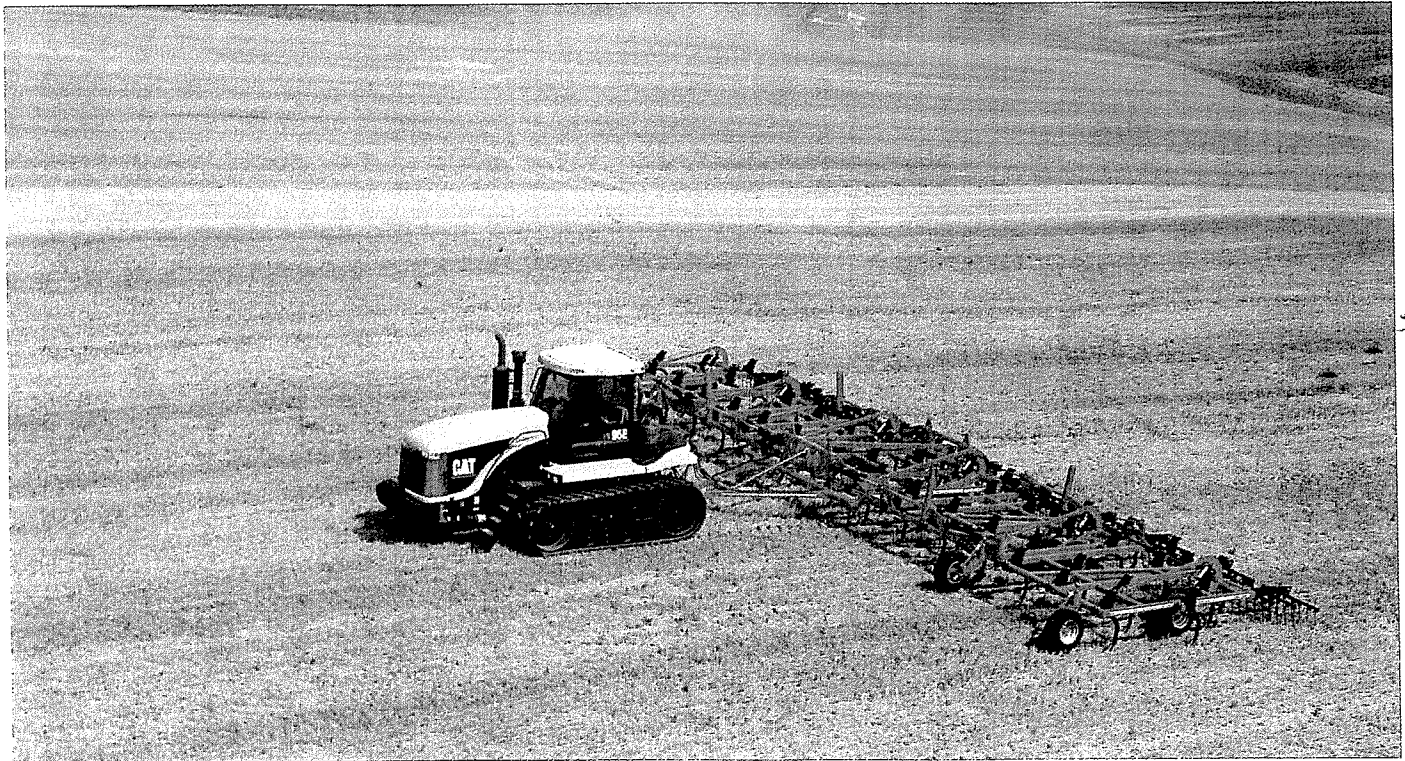


Abb. 6: Flachgrubber ermöglichen es, den Boden sehr flach, jedoch ganzflächig zu bearbeiten. Im Vergleich zum Pflug wird das aufliegende Stroh nicht so tief „vergraben“, es kann somit schneller verrotten und zu Humus umgebaut werden. Damit wird mehr Kohlenstoff im Boden gebunden. Verfahren, die den Boden weniger intensiv bearbeiten, bezeichnet man als „konservierende Bodenbearbeitung“. Sie haben

mehrere ökologische Vorteile: Erosionsschutz gegen Wind und Wasser, reduzierten Einsatz von Dünger, Pflanzenschutzmitteln und von Energie. In Amerika sind diese Verfahren bereits auf 70% der Nutzflächen üblich, in Deutschland erst auf einem Sechstel der Flächen. (Foto und Leihgabe: Horsch Maschinen GmbH, Schwandorf)

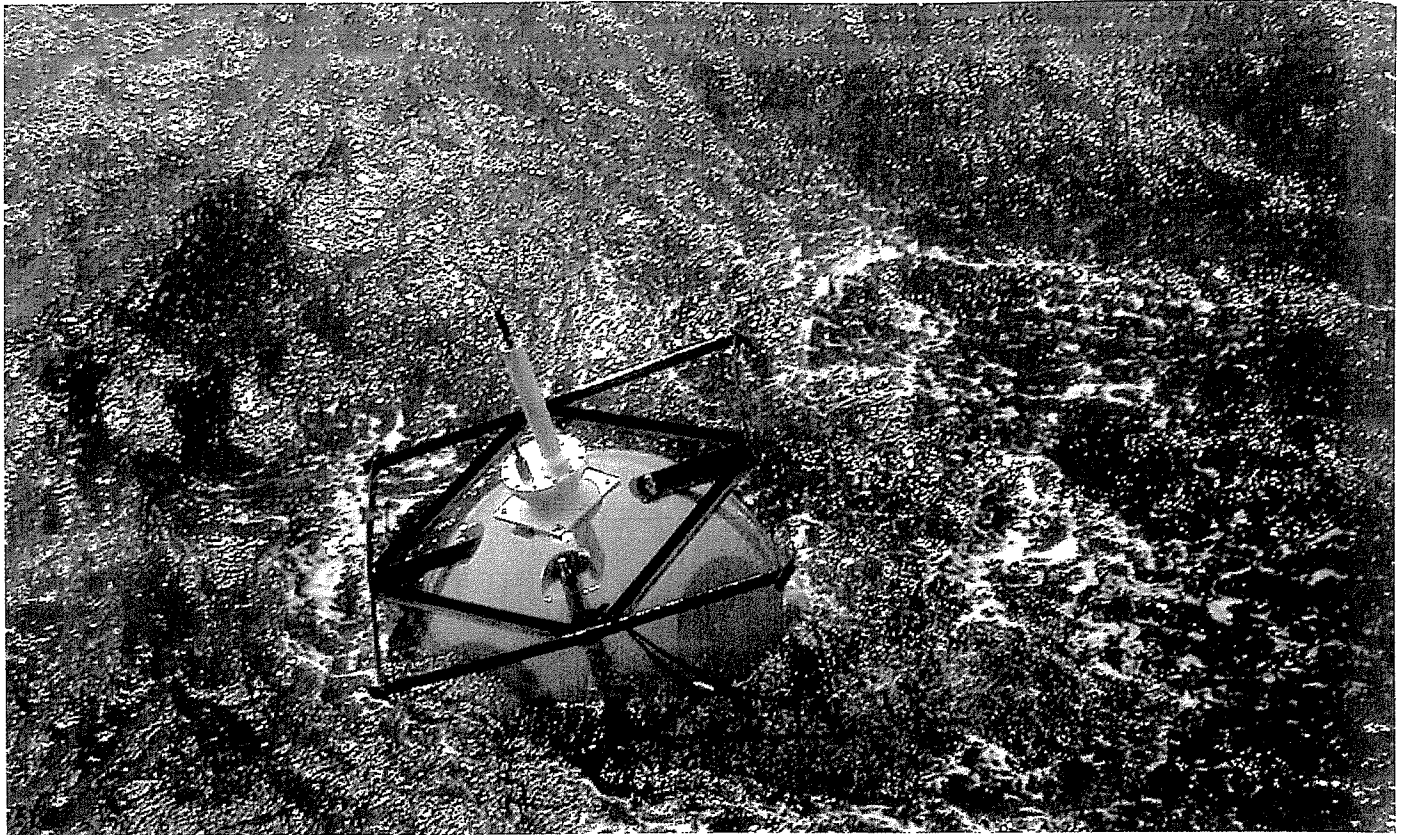


Abb. 7: Bei einem Experiment des Alfred-Wegener-Instituts zur Eisendüngung von Meeren wurden im November 2000 zwölf Tonnen Eisensulfat etwa in der Mitte zwischen Südafrika und dem antarktischen Kontinent ins Meer gepumpt. Mithilfe der abgebildeten Boje und durch Markierung mit Schwefelhexafluorid (SF₆), einem in geringsten Kon-

zentrationen messbaren Spurenstoff, wurde der Fleck verfolgt. Die Boje besitzt einen Treibanker in 30 m Tiefe, einen Radiosender und zwei GPS-Empfänger zur Lokalisation. Bei dem Versuch entwickelte sich eine ausgeprägte Algenblüte. (Foto: AWI, Bremerhaven)

gie, die bereits entstandene Schadstoffe behandelt. Doch das Einblasen von Kohlendioxid aus Kraftwerken in geologische Reservoirs ähnelt wohl mehr den konventionellen Techniken zur Verminderung von Umweltverschmutzung als dem Geoengineering, da es eher die Emissionen von Kohlendioxid in die Biosphäre einschränkt, anstatt bereits aufgetretene Emissionen zu kompensieren. Einfach ausgedrückt: Wenn geologische Fixierung „nach dem Schornstein“ („end of pipe“) erfolgt, dann erfolgt biologische Fixierung „jenseits des Schornsteins“ („beyond the pipe“).

GEOENGINEERING – JA ODER NEIN?

Das Nachkriegswachstum der Geowissenschaften wurde teilweise dadurch angekurbelt, dass man Umweltbelastungen quantifizieren wollte, um Argumente für ihre Verringerung zu haben. Paradoxerweise verschafft uns das dadurch gewonnene Wissen aber zunehmend einen Hebel für die bewusste Steuerung ökologischer Prozesse auf der Ebene des Planeten. Die Manipulation der Sonnenstrahlung durch Rückstrahlelemente in der Stratosphäre ist vielleicht das beste Beispiel für diese Einflussmöglichkeit: Wir könnten

bei jährlichen Kosten von weniger als 0,01% der globalen Wirtschaftsleistung die solare Einstrahlung um mehrere Prozent verringern – was wahrscheinlich ausreicht, um eine Eiszeit auszulösen. Es ist auch vorstellbar, dass Verbesserungen in der Wettervorhersage notwendigerweise auch eine effizientere Wettersteuerung ermöglichen. Unser wachsendes Verständnis für die Dynamik des Erdsystems gibt uns unvermeidlich die Macht, das System zu manipulieren, welche Motivation auch immer dahinter stecken mag.

Wie sollten wir unsere zunehmende Fähigkeit zum Engineering unseres Planeten nutzen? Es ist zurzeit unwahrscheinlich, dass Geoengineering ernsthaft als Instrument für die Reaktion auf Kohlendioxidbedingte Klimaveränderungen in Betracht gezogen, geschweige denn eingesetzt wird. Aber wenn man weiter in die Zukunft blickt, ist die Frage weniger leicht zu beantworten. Meiner Ansicht nach wird die Antwort zu einem entscheidenden Teil dadurch gegeben, welche Ziele letztlich mit der Klimapolitik verfolgt werden. Warum sollten wir Geld ausgeben, um klimatische Veränderungen zu verringern? Welche Konsequenzen sind uns am wichtigsten? Ist das Wohlergehen des Menschen der einzige Gesichtspunkt oder haben wir eine Verpflichtung zum Schutz

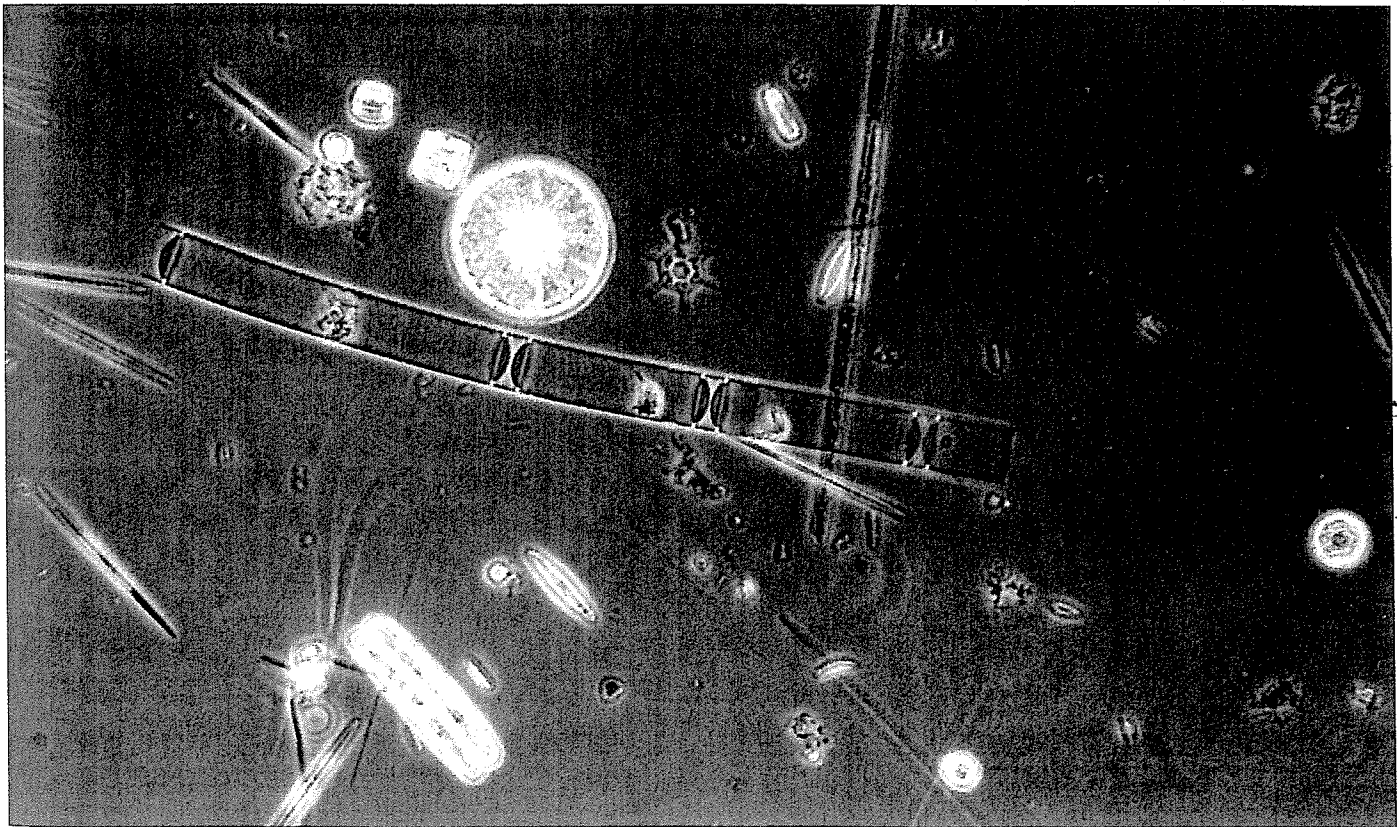
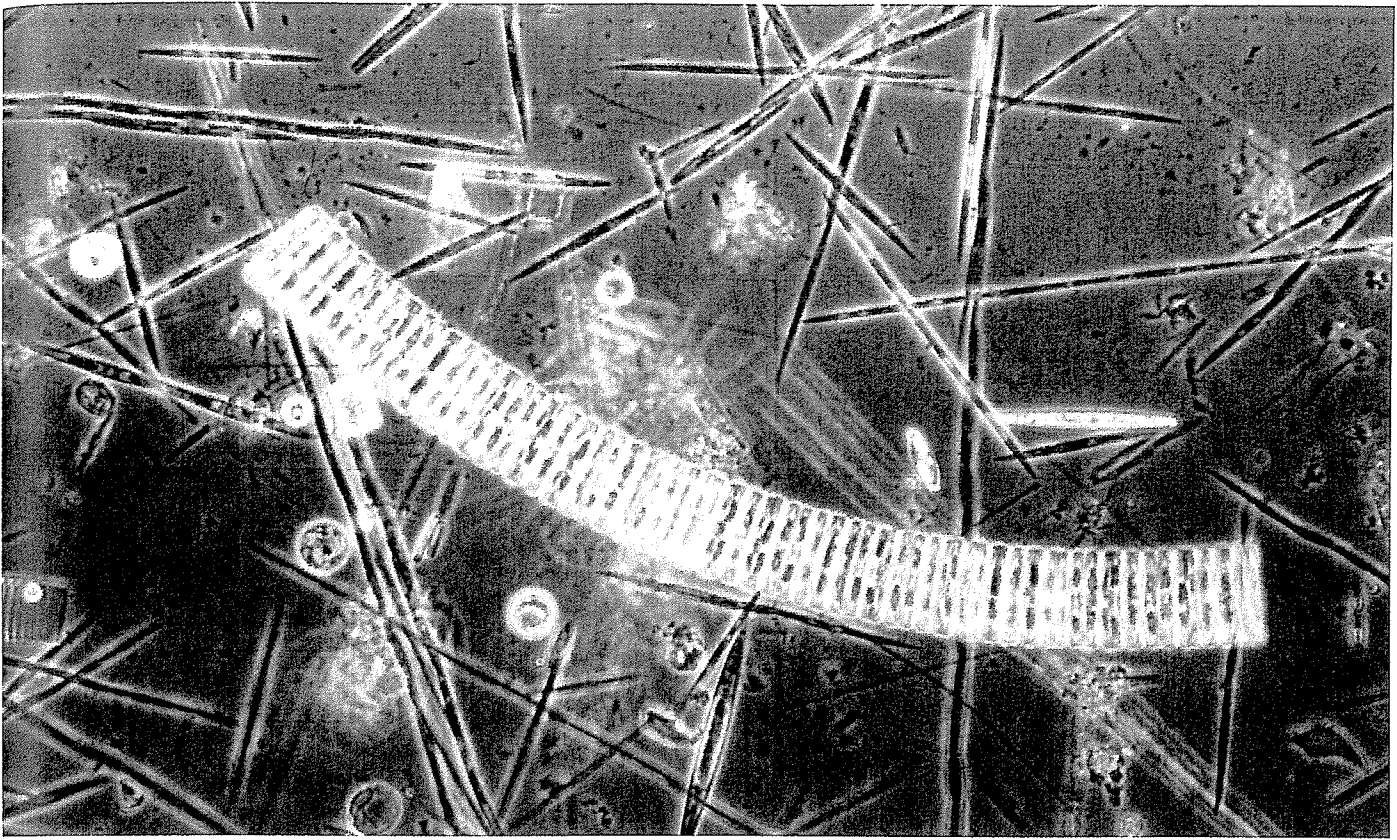


Abb. 8: Oben eine Mikroskopaufnahme von Phytoplankton innerhalb des eisengedüngten Flecks, unten außerhalb. Die Algenblüte entwickelte sich bei dem Experiment bis in 90 m Tiefe. Über ihren Verbleib ist wenig bekannt. Bleibt die erzeugte Biomasse an der Oberfläche, dann wird sie von Bakterien und Zooplankton abgebaut. Es wird also kein

Kohlendioxid langfristig gebunden. Sinkt jedoch ein Teil davon ab oder wird er durch Strömungen in die Tiefe transportiert, so wird die entsprechende Kohlendioxidmenge der Atmosphäre für lange Zeit entzogen. (Foto: AWI, Bremerhaven)

natürlicher Systeme unabhängig von ihrem Nutzen? Klimapolitik wird vielfach bezeichnet als eine Entscheidung zwischen verschiedenen Energietechnologien und politischen Instrumenten. Aber über die Auswahl der geeigneten Instrumente hinaus sind schwierige Entscheidungen über die geeignete Art des Managements unseres Planeten zu treffen. Unsere Reaktion auf die kohlendioxidbedingten Klimaveränderungen kann überall zwischen zwei extremen Positionen liegen: aktives Management der Ressourcen der Erde zum Nutzen des Menschen einerseits und Minimierung der Auswirkungen durch den Menschen andererseits. Die Befürworter eines aktiven Managements halten eine bloße Minimierung der Auswirkungen für naiv, da die Erde bereits durch menschliches Handeln so weit verändert wurde, dass sie schon heute ein menschliches Kunstprodukt sei. Es habe wenig Sinn, die Auswirkungen zu minimieren, um der Natur ihren Lauf zu lassen, wenn es keine freie Natur mehr zu schützen gebe. Nach dieser Ansicht ist das richtige Ziel eines Managements der Erde die Maximierung des Nutzens unseres Planeten für den Menschen (Allenby 1999). Eine Strategie des aktiven Managements könnte eine beliebige Mischung aus verschiedenen Reaktionen umfassen, einschließlich der Verringerung der Kohlendioxidemissionen, des Ausgleichs der Emissionen durch technisch veränderte Reservoirs oder andere Methoden des Geoengineerings oder der strategischen Anpassung an das sich ändernde Klima. Im anderen Extremfall würde eine Strategie der Minimierung die verfügbaren Instrumente nutzen, um die Auswirkungen des Menschen auf globaler Ebene zu minimieren.

Wenn die Auswirkungen auf die Menschheit unser Hauptanliegen sind, dann scheint das aktive Management eine geeignete Reaktionsform zu sein. Wir könnten uns gegen Geoengineering aussprechen, weil es zu risikoreich, zu teuer oder zu unsicher ist; aber wenn Geoengineering-Methoden entwickelt werden, die nachweislich risikoärmer und kostenwirksamer als andere Maßnahmen sind, sollten wir sie unter dieser Voraussetzung nicht ablehnen.

Wenn die Auswirkungen auf die Umwelt, in die der Mensch in geringem Umfang eingreift, unser Hauptanliegen sind, ist die Minimierung eine geeignete Reaktion. Diese Ansicht der Klimapolitik verlangt, dass wir den natürlichen Systemen an sich, also unabhängig von ihrem Nutzwert, Rechte oder Werte zusprechen. Wenn derartige Rechte akzeptiert werden, bedeutet dies jedoch nicht notwendigerweise, dass sie alle anderen überwiegen. Auch der Mensch hat Rechte. Aber wenn man der Natur Rechte einräumt, hat man damit eine Grundlage für das Argument geschaffen, dass neben dem Nutzen für den Menschen auch andere Überlegungen in die Klimapolitik einfließen sollten und dass daher der Schutz natürlicher Systeme – um ihrer selbst willen – ein legitimes Ziel der Klimapolitik ist.

Minimierung schließt Geoengineering nicht aus. Wenn wir die Minimierung als Ziel akzeptieren, schließen wir damit nur aus, dass Geoengineering allein deshalb eingesetzt wird, weil es ein probates Mittel zur Förderung menschlicher Interessen ist. Das Ziel der Minimierung lässt (möglicherweise) den Einsatz des Geoengineerings als vorübergehende Maßnahme zu, wenn es sich als effiziente Methode zur Verringerung der Auswirkungen auf die natürliche Umgebung erweist.

Um es noch deutlicher auf den Punkt zu bringen, betrachten wir den Einsatz von Weltraumschirmen zum Ausgleich der globalen Erwärmung. In der letzten Zeit ist mehrfach der Standpunkt vertreten worden, dass diese Methoden als Ersatz für die Verringerung der Kohlendioxidemissionen genutzt werden sollten, wenn sie die kostengünstigste und sinnvollste Möglichkeit sind, um auf die durch anthropogenes Kohlendioxid verursachten Probleme zu reagieren. Ich lehne diese Ansicht ab, aber es gibt Bedingungen, unter denen ich mich für ein Geoengineering der Albedo aussprechen könnte. Nehmen wir an, dass in mehreren Jahrzehnten im Rahmen eines tragfähigen internationalen Abkommens echte gemeinsame Bemühungen im Gange sind, um die Kohlendioxidemissionen zu verringern. Nehmen wir weiter an, dass sich die Kosten einer Minderung, oder die Empfindlichkeit des Klimas gegenüber Kohlendioxid oder die Empfindlichkeit natürlicher Systeme gegenüber Klimaveränderungen als höher bzw. stärker erweisen, als wir heute erwarten. Und nehmen wir schließlich an, dass wegen der langen Lebensdauer von Kohlendioxid in der Atmosphäre selbst drastische Maßnahmen zur Verringerung der Emissionen nicht ausreichen, um die empfindlichsten natürlichen Ökosysteme wie die Arktis oder die Antarktis zu schützen. Unter diesen Bedingungen könnte ich mir durchaus vorstellen, dass ich ein vorübergehend eingesetztes, vom Weltraum aus betriebenes System zur Modifizierung der Albedo befürworten würde, das darauf abzielt, die Klimaauswirkungen während der Belastung durch die höchsten Kohlendioxidkonzentrationen zu begrenzen. Es könnte außerdem überzeugend die Ansicht zu vertreten sein, dass die Risiken eines solchen Systems niedriger seien als die Risiken der hohen Kohlendioxidkonzentrationen.

Machen wir ein gedankliches Experiment: Stellen Sie sich vor, dass Wesen einer fremden Zivilisation die Erde besuchen und uns den technologischen Schlüssel zur Beherrschung des Klimas und des Wetters geben, eine Art schwarzer Kasten mit etlichen Knöpfen, mit denen wir die globale Temperatur, die Kohlendioxidkonzentration und verschiedene andere Parameter einzeln einstellen können. Jede Verstellung der Knöpfe würde unvermeidbar einigen nützen und anderen schaden. Wir haben noch kein globales Regierungs- und Verwaltungssystem, das es uns ermöglichen würde, eine tragfähige (geschweige denn demokratische) Entscheidung darüber zu fällen, wie wir diese Knöpfe

einstellen sollten. Man kann sich leicht die Konflikte ausmalen, die aus dem Streit darüber, wie die Knöpfe eingestellt werden sollten, hervorgehen werden. Angesichts des Fehlens eines glaubwürdigen Systems für eine globale Regierung und Verwaltung bestünde die einzige tragfähige Entscheidung vielleicht darin, die Knöpfe wieder auf ihren vorindustriellen Wert zurückzusetzen. Das würde bedeuten, den Einfluss des Menschen auf ein Minimum zu beschränken, anstatt die Umwelt unseres Planeten aktiv zu manipulieren.

Zwar ist eine solche Technologie freundlicher Aliens ein reines Gedankenexperiment, aber die Fähigkeit, die Natur auf der Ebene des Planeten zu steuern, ist keine Fiktion. Derartige Fähigkeiten werden automatisch durch die weitere Entwicklung von Wissenschaft und Technik entstehen. Wenn nicht ein weltweiter Krieg oder eine andere Katastrophe den technischen Fortschritt stoppt oder sogar umkehrt, erscheint es unvermeidlich, dass wir bald über diese Fähigkeiten verfügen werden.

Debatten über die bewusste Modifizierung des Weltklimas gab es schon vor mindestens einem Jahrhundert. 1908 vermutete Arrhenius, der als Erster den Einfluss von Kohlendioxid auf das Klima analysierte, dass die Erwärmung aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe möglicherweise zu einer Steigerung der Nahrungsmittelproduktion führe, da sich die Landwirtschaft weiter nach Norden ausdehnen könne. Sein Zeitgenosse Eckhom ging noch weiter und schlug vor, flache Kohleschichten in Brand zu setzen, um dadurch zusätzliches Kohlendioxid in die Atmosphäre einzubringen, so das Einsetzen von Eiszeiten zu verhindern und durch den Düngereffekt des Kohlendioxids die Produktivität der Landwirtschaft zu steigern. In den hundert Jahren, seit sich Arrhenius und Eckhom zum ersten Mal mit diesen Fragen auseinandersetzen, sind unsere Fähigkeiten zur Manipulation des Planeten und unser Verständnis der globalen Auswirkungen menschlicher Aktivitäten gewachsen. Als Abhilfe für kohlendioxidbedingte Klimaveränderungen haben alle vorgeschlagenen Geoengineering-Lösungen aber gravierende Mängel.

Dennoch halte ich es für wahrscheinlich, dass wir in diesem Jahrhundert eine ernsthafte Debatte über Geoengineering-Maßnahmen zur technologischen Gestaltung unseres Planeten und vielleicht sogar deren Umsetzung erleben werden. Aktives Planetenmanagement kann ein unvermeidbarer Schritt in der Entwicklung einer technologisch geprägten Gesellschaft sein, aber ich rate dringend zur Vorsicht. Es wäre klug, gehen zu üben, bevor wir zu laufen versuchen, also zu lernen, die Auswirkungen zu minimieren, ehe wir uns am Planetenmanagement versuchen.

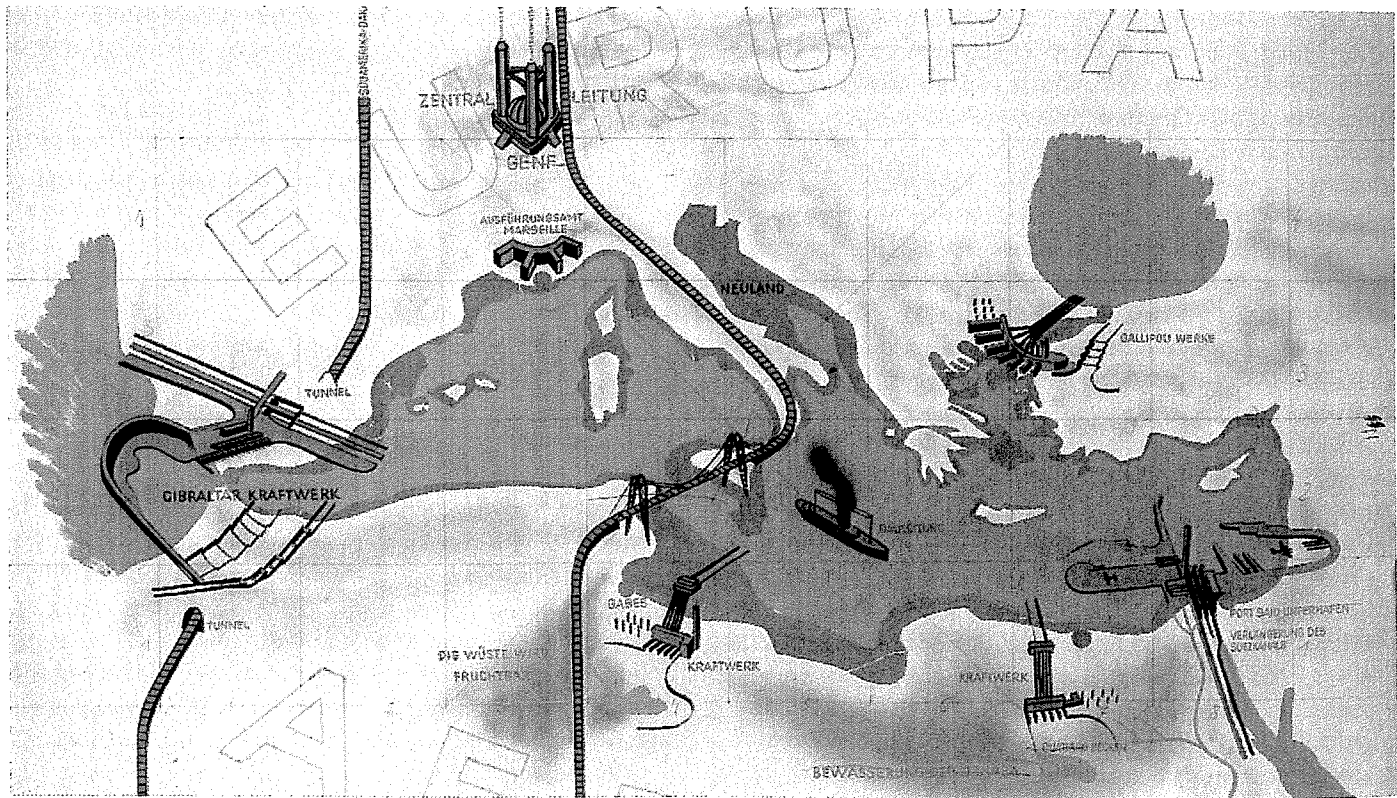


Abb. 9: Die über den Mond aufgehende Erde, aufgenommen von der Apollo-8-Mission. (Foto: NASA)

9 Klimabeeinflussung als Ingenieurvision

9.1 Das Atlantropa-Projekt und die Erschließung Afrikas

Die Idee, das Klima gezielt zu beeinflussen, hat Wissenschaftler und Ingenieure lange vor der aktuellen Klimadebatte fasziniert und zu utopischen Plänen für eine bessere Welt beflügelt. Eines der größten Projekte dieser Art präsentierte der Münchner Architekt Herman Sörgel (1885–1952) seit Ende der Zwanzigerjahre unter dem Namen „Atlantropa“. Sörgel wollte mit einem gigantischen Damm bei Gibraltar das Mittelmeer absenken, eine unerschöpfliche Energiequelle erschließen, neuen Lebensraum an den Küsten gewinnen und die Staaten Europas politisch vereinigen. Dahinter stand die korrekte Beobachtung, dass die Verdunstungsverluste des Mittelmeeres nur vom Atlantik voll ausgeglichen werden. Durch die Absperrung der Straße von Gibraltar würde deshalb ein Gefälle entstehen, das ein riesiges Wasserkraftwerk antreiben sollte, um Strom für ganz Europa zu liefern. Das klingt heute wie Science-Fiction, wurde damals aber ernsthaft diskutiert.

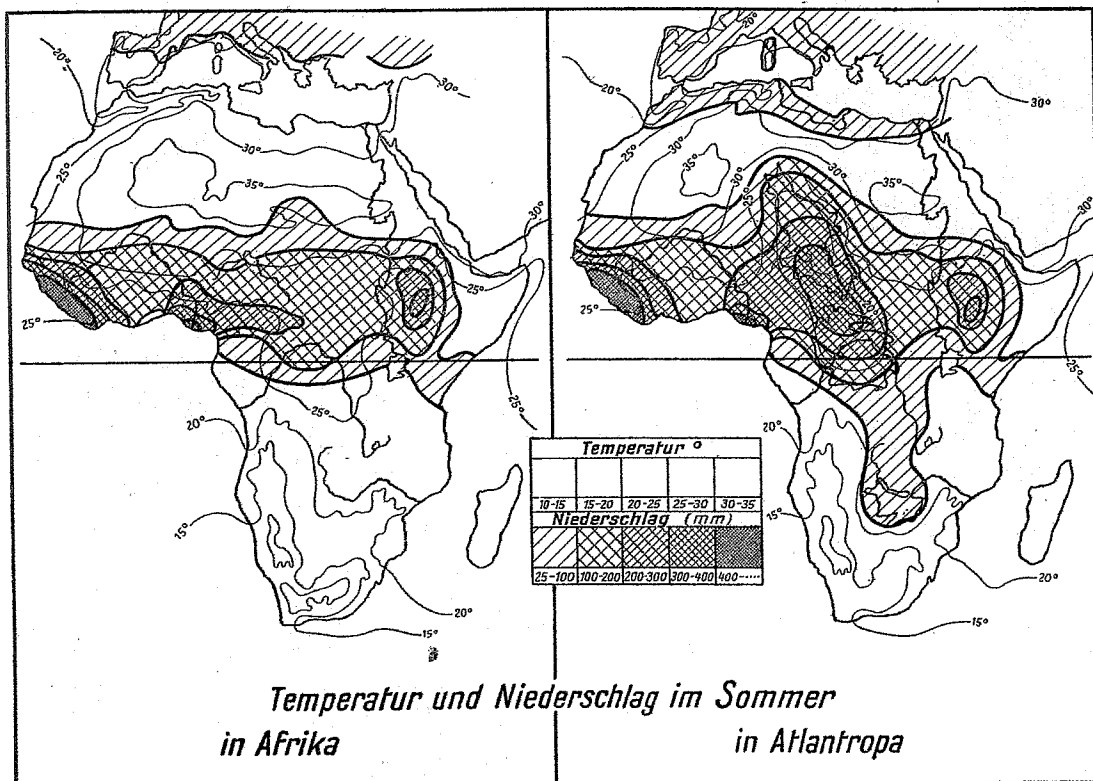


9.1.1 Atlantropa-Bauten

1932; 80 x 100 cm; München, Plansammlung des Deutschen Museums (TZ 004602)

Schaubild zu Schienenverkehr, Neuland- und Energiegewinnung durch das Atlantropa-Projekt

Dem Zeitgeist entsprechend begriff Sörgel die Übervölkerung Europas als zentrales Problem, für das er endgültige Lösungen suchte. Atlantropa umfasste riesige Teilprojekte zur technischen Erschließung Afrikas: Zur Kultivierung der Sahara sollten künstliche Seen angelegt und über Kanäle mit dem Mittelmeer verbunden werden; Sörgel erhoffte sich davon regelmäßige Niederschläge. Um eine weitere Energiequelle zu erschließen, plante er, den Kongo zu stauen und das Kongobecken in ein Binnenmeer zu verwandeln. Dies sollte auch die tropischen Temperaturen mildern, um die Lebensbedingungen für europäische Siedler zu verbessern. Vor allem wegen dieser Pläne zur „Klimatisierung“ Afrikas wurde Sörgel nach dem Zweiten Weltkrieg eine „bedenkliche Vermengung von Utopie und Wissenschaft“ vorgeworfen. Dass das Projekt dann in Vergessenheit geriet, lag jedoch vorwiegend am Aufstieg der Atomenergie zum neuen Kristallisationspunkt technischer Utopien.



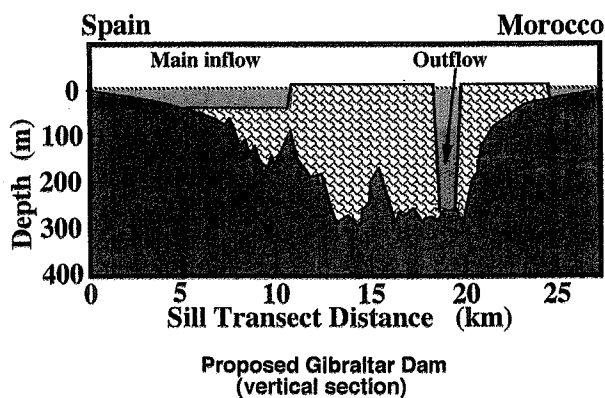
9.1.2 Klimakarten für Afrika und Atlantropa

1949; Reproduktion, aus: Atlantropa-Mitteilungen, Nr. 25; 11x15 cm; München, Bibliothek des Deutschen Museums (ZB 4203)

Die Karten zeigen die vorausgesagten Veränderungen der Temperatur und die Zunahme des Niederschlags in Zentralafrika als Folge des Atlantropa-Projekts.

9.2 Neue Streiter für Atlantropa

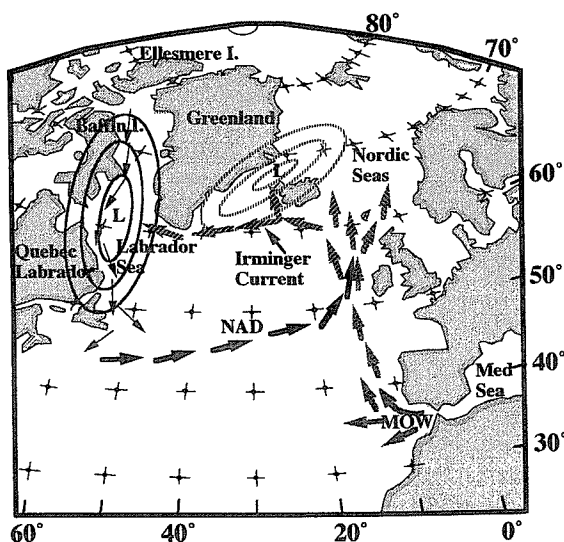
In den Achtzigerjahren fand Atlantropa in dem amerikanischen Geographen Richard B. Cathcart wieder einen überzeugten Anhänger, der die Öffentlichkeit mit immer neuen Gründen für den Gibraltar-Damm zu gewinnen sucht. 1997 trat der Meeresforscher Robert Johnson aus Furcht vor einer Vereisung Kanadas und einer Abkühlung Europas dafür ein. Seiner Meinung nach werde durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung des Nilwassers das Mittelmeer seiner wichtigsten Frischwasserquelle beraubt; dies erhöhe den Salzgehalt, damit das spezifische Gewicht des Mittelmeerswassers und vergrößere die Tiefenströmung durch die Straße von Gibraltar in den Atlantik. Als Folge, so Johnson, sei eine Störung des nordatlantischen Strömungsgleichgewichts zu erwarten, die den Golfstrom umlenken werde. Das Szenario ist unter Klimaforschern ebenso umstritten wie die von Johnson befürchtete Eiszeit. Er selbst ist mittlerweile von seinem Vorschlag abgerückt; ihm erscheint nun eine Vereisung Kanadas als bestes Mittel gegen die globale Erwärmung.



9.2.1 Schnitt durch Gibraltar-Damm

Robert G. Johnson, Minneapolis (USA), 1997; 10x18cm; Minneapolis, R. G. Johnson

Robert Johnson schlug vor, mit einem Gibraltar-Staudamm die Strömung durch die Straße von Gibraltar zu regulieren, um so auf den Golfstrom Einfluss zu nehmen und das Klima im globalen Maßstab zu gestalten.



9.2.2 Meeresströmungen im Atlantik

Robert G. Johnson, Minneapolis (USA), 1997; 15x15cm; Minneapolis, R. G. Johnson

Nach Johnson verändere die zunehmend salzreiche Meeresströmung aus dem Mittelmeer die nordatlantischen Strömungen. Dies sei die Ursache für das Abschmelzen des Packeises und könne gleichzeitig für eine kommende Vereisung verantwortlich sein.

LITERATUR

Leseempfehlungen

Allenby, B. (1999): Earth systems engineering: The role of industrial ecology in an engineered world. In: Journal of Industrial Ecology 2, 73-93.

Hoffman, R. N. (2002): Controlling the global weather. In: Bulletin of the American Meteorological Society, February 2002, S. 241-248.

Keith, D. W. (2000): Geoengineering the Climate: History und Prospect. In: Annual Review of Energy and Environment 25, S. 245-284.

Katalog

Gall, A. (1998): Das Atlantropa-Projekt. Die Geschichte einer gescheiterten Vision. Herman Sörgel und die Absenkung des Mittelmeers. Campus, Frankfurt/New York.

Voigt, W. (1998): Atlantropa. Weltenbau am Mittelmeer. Ein Architekten-traum der Moderne. Dölling und Galitz Verlag, Hamburg.

Literaturbelege

Budyko, M. I. (1982): The Earth's climate, past and future. Academic Press, New York.

Friedman, R. M. (2000): When you find yourself in a hole, stop digging. In: Journal of Industrial Ecology 3, S. 15-19.

Govindasamy, B., K. Caldeira (2000): Geoengineering Earth's radiation balance to mitigate CO₂-induced climate change. In: Geophys. Res. Letters 27, S. 2141-2144.

Parson, E. A., D. W. Keith (1998): Fossil fuels without CO₂ emissions. In: Science 282, S. 1053-1054.

President's Science Advisory Committee (1965): Restoring the quality of our environment. Washington DC, Executive office of the president.

Teller, E., L. Wood, u. a. (1997): Global Warming und Ice Ages: I. Prospects for physics based modulation of global change. Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA.

Katalog

Johnson, R. G. (1997): Climate control requires a dam at the strait of Gibraltar. In: EOS 78, Nr. 27, S. 277-284.

Sörgel, H. (1932): Atlantropa. Fretz & Wasmuth A.G., Zürich und Piloty & Loehle, München.

Sörgel, H. (1938): Die drei großen „A“. Großdeutschland und italienisches Imperium, die Pfeiler Atlantropas. Piloty & Loehle, München.

Der **Autor** David Keith ist Physiker und Assistant Professor für Engineering and Public Policy an der Carnegie Mellon Universität. Neben Arbeiten zur Atmosphärenphysik beschäftigt er sich mit der Unsicherheit in Klimaprognosen, Kohlenstoffmanagement und Geoengineering sowie Klima- und Energiepolitik. Derzeit arbeitet er an einer Studie zu historischen Wurzeln und ethischen Implikationen des Geoengineerings.

Alexander Gall (**Katalog**) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsinstitut für Technik- und Wissenschaftsgeschichte des Deutschen Museums. 1998 veröffentlichte er „Das Atlantropa-Projekt. Die Geschichte einer gescheiterten Vision. Herman Sörgel und die Absenkung des Mittelmeers“.