

Die große CO₂-Rückrufaktion

Die Klimawissenschaft setzt auf »negative Emissionen«: Ein Teil der Treibhausgase soll aus der Atmosphäre zurückgeholt werden

Von Kristina Simons

Wir haben keine Chance – nutzen wir sie! Dieser Satz zwischen Resignation und Hoffnung erhält neue Aktualität, wenn man mit Klimawissenschaftlern darüber spricht, ob und wie sich die Klimaerwärmung stoppen lässt. Höchstens um 2, besser nur um 1,5 Grad soll das irdische Fieber im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter ansteigen, wie es die Weltgemeinschaft auf dem Pariser UN-Klimagipfel im Dezember 2015 als Ziel formuliert hat. Klimawissenschaftler haben jedoch große Zweifel, ob die bisherigen Instrumente zur Eindämmung der Klimagase dafür tatsächlich reichen werden. »Dazu müssten die Emissionen innerhalb der nächsten 20 bis 30 Jahre auf null gehen – und wir müssten unsere Art der Energienutzung revolutionär umstellen und sofort damit aufhören, fossile Energieträger zu verbrennen«, sagt David Keller von Geomar Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel. »Eine solche Veränderung würde den Lebensstil so gut wie aller Menschen in der westlichen Welt radikal beeinflussen.«

Weitgehend unbemerkt von der Öffentlichkeit beschäftigt Klimaforscher in der ganzen Welt schon seit einigen Jahren die Idee, bereits ausgestoßenes CO₂ nachträglich wieder aus der Atmosphäre zurückzuholen. »Carbon Dioxide Removal« (CDR) nennt sich das Vorhaben in Fachkreisen – für viele ein elektrisierender Gedanke. Für andere ist es die letzte Notfallmaßnahme, wenn die Erde in den nächsten Jahren auf eine unkontrollierbare Erwärmung zusteuert. Mithilfe unterschiedlicher Technologien und Hilfsmittel wollen die Rückholer im großen Maßstab ins Klimasystem eingreifen, es manipulieren und so den Klimawandel bremsen. Im besten Fall lassen sich damit sogar mehr Treibhausgase zurückholen, als jedes Jahr ausgestoßen werden, also negative Emissionen »erzeugen«. CDR gehört – neben dem »Solar Radiation Management«, also den Eingriffen auf den Strahlenhaushalt der das Klima maßgeblich beeinflussenden Sonne – zum sogenannten Geo-Engineering oder auch Climate-Engineering.¹

Um die Sonneneinstrahlung zu dämpfen, sind zum Beispiel riesige Spiegelflächen im All angedacht. Bei vielen CDR-Methoden spielen dagegen harmlos anmutende Bäume und Pflanzen eine zentrale Rolle, weil die während ihres Wachstums Kohlenstoff aus der Luft binden, als Biomasse speichern und so dem Kohlenstoffkreislauf entziehen können. Außerdem stehen die Ozeane als wichtigste und auch größte CO₂-Senke im Fokus. Die Meere – und hier vor allem die Tiefsee – nehmen etwa 50-mal mehr Kohlenstoff auf als die At-

mosphäre. Diese Eigenschaften wollen Forscher beim CDR mithilfe biologischer, chemischer oder physikalischer Prozesse nutzen. Das atmosphärische Kohlendioxid wird dann entweder terrestrisch eingefangen und gespeichert oder, in der marinen Variante, vom Ozean aufgenommen. In beiden Fällen soll es sich dann jedenfalls nicht mehr auf das Klima auswirken. So zumindest die Theorie. CO₂ zu speichern, das funktioniert, wenn überhaupt, jedoch nur mit großem technischen, energetischen, ökonomischen und zeitlichen Aufwand. Zudem müssen die Speicher – geologische Formationen tief unter der Erde – ausreichend sicher sein, damit das CO₂ nicht mit ungeahnten Folgen wieder entweichen kann.

Um es gleich vorwegzunehmen: Die Erforschung der meisten CDR-Technologien steckt noch in den Kinderschuhen. Über ihre möglichen unbeabsichtigten Nebeneffekte auf Klima und Ökosysteme, über die damit verbundenen Risiken, über ihre Wirksamkeit, die Kosten und den benötigten Energieaufwand wissen wir noch viel zu wenig. Die bisher durchgeführten Modellstudien lassen kaum Rückschlüsse darauf zu, wie sich die Methoden in den großen Dimensionen auswirken, die in der Realität erforderlich sind. »Die Studien wurden zudem anhand von Klimamodellen durchgeführt, die an ihren eigenen Unsicherheiten leiden«, sagt Keller. Und CDR ist nichts für kurzfristige Erfolge. »Für einen Einsatz in großem Maßstab müssten ganz neue Infrastrukturen aufgebaut werden, eine neue Industrie müsste entstehen«, erläutert Stefan Schäfer, Leiter des Programms »Technologischer Wandel und gesellschaftliche Transformationen im Anthropozän« beim Institute for Advanced Sustainability Studies Potsdam (IASS).

Trotz all dieser Unsicherheiten wird die Rückholung der Treibhausgase längst in die Modellrechnungen zur Rettung des Klimas als feste Größe mit einkalkuliert. Ohne die Negativemissionen, das glauben inzwischen viele auch ganz seriöse Wissenschaftler, sind die Klimaziele nicht zu schaffen. Auch im 5. Sachstandsbericht des Weltklimarats IPCC von 2014 spielen die CDR-Methoden in 85 Prozent der 2-Grad-Szenarien eine Rolle. »Jetzt, wo es um 1,5 Grad geht, gibt es bisher noch keine Szenarien, in denen es nicht zusätzlich zur Emissionsreduktion auch darum geht, CO₂ aus der Atmosphäre zurückzuholen«, sagt Sabine Fuss, Klimaökonomin am Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change.

CDR-Technologien werden daher mit hoher Wahrscheinlichkeit auch bei dem im Herbst 2018 erscheinenden Sonderbericht des IPCC zum 1,5-Grad-Ziel ein wichtiges Thema sein. »Man jongliert hier mit Annahmen, von denen man nicht weiß, ob sie überhaupt eingehalten werden können«, kritisiert Schäfer und mahnt eine ra-

Artist's Impression eines Wolkenimpfungsschiffs mit Flettner-Rotor-Antrieb: Die künstlich generierten Wolken sollen die Sonneneinstrahlung mindern. ■ JOHN MACNEILL

sche offene Auseinandersetzung an. Es sei besorgniserregend, wenn Klimapolitik auf der Basis von Vermutungen gemacht werde, die für die Öffentlichkeit nicht transparent und nur schwer verständlich seien. »Aus wissenschaftlicher Sicht ist es zwar sinnvoll, solche spekulativen Szenarien zu untersuchen«, ergänzt David Keller. »Doch ich halte es für unverantwortlich, sie zur Grundlage politischer oder wirtschaftlicher Entscheidungen zu machen, ohne zugleich auf die damit verbundenen Unsicherheiten hinzuweisen.«

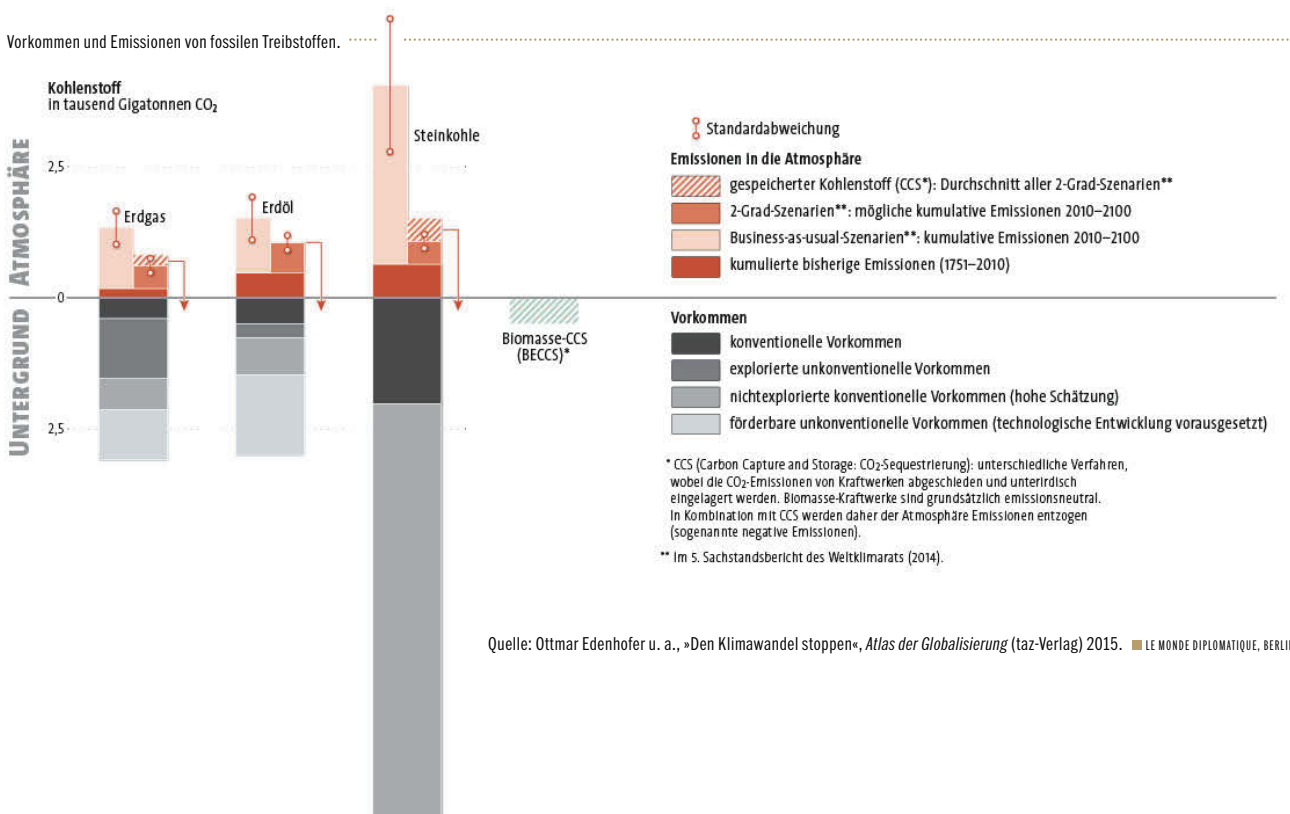
Klimaökonomin Fuss veranschaulicht das Dilemma an einem Bild: »Man muss sich das Ganze wie eine riesige Badewanne vorstellen: Je mehr wir emittieren, desto voller wird sie.« Die Wanne sei bereits kurz davor überzulaufen. »Bei einer Erwärmung, die langfristig bei 1,5 Grad liege, müssten wir noch deutlich mehr aus der Wanne rausschöpfen als bei 2 Grad.« In konkreten Zahlen heißt das: Für das 1,5-Grad-Ziel ist in der Badewanne noch Platz für etwa 200 Gigatonnen (Gt) CO₂. Pro Jahr emittieren wir aber bereits circa 40 Gt. »Wir haben also nur noch fünf Jahre Zeit, bis die Wanne überläuft«, so Fuss. »Ohne CDR ist es schwer vorstellbar, dieses Ziel zu erreichen – ohne verstärkte kurzfristige Emissionsreduktionen allerdings erst recht.« Fuss versteht das Zurückholen von CO₂ deshalb ausdrücklich nicht als Plan B fürs Klima: »Es ist keine Alternative zu maximalen Anstrengungen, jetzt die Emissionen zu reduzieren.« Das Zurückholen der Klimagase sei erst dann herkömmlichen Strategien zur Reduktion des Ausstoßes überlegen, betont auch IASS-Programmleiter Schäfer, wenn wir alle Möglichkeiten dazu ausgereizt haben. »Solange wir nicht mehr CO₂ aus der Atmosphäre entfernen, als wir hineingeben, werden wir mit CDR keine Effekte erzielen, die nicht auch durch das Vermeiden von Emissionen erzielt werden können.«

Um CO₂ zu binden und möglichst lange dem Kohlenstoffkreislauf zu entziehen, werden ganz unterschiedliche, mehr oder weniger erfolgversprechende CDR-Methoden gehandelt. Das gezielte Aufforsten von Wäldern zum Beispiel wäre erfolgversprechend, weil mehr

Bäume auch mehr Kohlendioxid aus der Atmosphäre binden. Nehmen die Wälder mehr auf, als sie abgeben, werden sie zu CO₂-Senken. »Es würde allerdings schon helfen, das Abholzen von Wäldern zu stoppen«, wendet David Keller ein.

Hoffnung setzen einige Wissenschaftler auch darauf, Kohlendioxid direkt aus der Umgebungsluft zu filtern und anschließend dauerhaft im Untergrund oder in der Tiefsee zu lagern. Dafür könnten dann »künstliche Bäume« – eine gefällige Umschreibung für riesige industrielle Filteranlagen – großflächig entlang von Straßen aufgestellt werden. Man könnte Kohlenstoff auch in anderen Pflanzen speichern oder in den aus Pflanzen hergestellten Produkten, etwa im Bauholz, wenn in neuen Gebäuden mehr davon verwendet wird. Diskutiert wird auch, Ernteabfälle im Meer zu versenken oder Biomasse in »Biokohle« umzuwandeln und dann zur Energiegewinnung zu nutzen. Manche Forscher wollen auch natürliche Verwitterungsprozesse nachahmen oder sogar beschleunigen, weil dabei CO₂ aus der Atmosphäre entfernt wird. Eine andere Idee: die Ozeane kalkan (alkalisieren) und das Meerwasser damit so verändern, dass es noch mehr CO₂ aus der Luft bindet. Oder die marine Schichtung von wärmerem Oberflächenwasser und kaltem Tiefenwasser so manipulieren, dass das aufnahmefähigere Tiefenwasser nach oben kommt. Dies alles sind gewaltige Eingriffe, deren ökologische Folgen kaum absehbar sind.

Zu den besonders intensiv diskutierten, weil vielversprechenden Methoden zählt ein Ansatz namens BECCS. Das Kürzel steht für »Bioenergy with Carbon Capture and Storage«. BECCS kombiniert Bioenergie mit der Abscheidung und unterirdischen Speicherung von CO₂, also dem hochumstrittenen CCS. Auch in den Szenarien des Weltklimarats spielt diese Technologie eine entscheidende Rolle. Während es beim CCS bisher in erster Linie um CO₂-Emissionen aus Kohlekraftwerken geht, soll bei BECCS die zuvor im großen Stil angepflanzte Biomasse in Kraftwerken verheizt, das dabei freiwerdende CO₂ aufgefangen und anschließend tief unter der Erde ge-



speichert werden, zum Beispiel in wasserhaltigen Gesteinsschichten oder in leergepumpten Öl- und Gasfeldern. Auf den abgeernteten Flächen wächst dann schon die nächste Biomasse heran und das Ganze geht wieder von vorn los. BECCS ist eine der wenigen CDR-Methoden, für die es bereits Pilotanlagen gibt. Außerdem könnte es einer der »preiswerteren« Ansätze sein, der sich ohne eine CO₂-Steuer oder staatliche Förderungen finanzieren ließe.

Doch die Methode hat gleich mehrere Haken. »Das größte Problem ist, dass wir für BECCS riesige Landflächen für den Anbau nachhaltiger Biomasse brauchen, die zudem nicht in Konkurrenz zu anderen Nachhaltigkeitszielen wie der Nahrungsmittelproduktion stehen und für die zum Beispiel nicht einfach Wälder gerodet werden dürfen«, warnt Sabine Fuss. Schon für das Erreichen des 2-Grad-Ziels sind für BECCS nach derzeitigen Schätzungen 500 Millionen Hektar Landfläche nötig, das ist eineinhalbmal die Fläche Indiens. Zudem gefährdet der großflächige Anbau von Monokulturen die biologische Vielfalt. »Noch mehr Landfläche würde allerdings eine Aufforstung von Wäldern verschlingen, die dennoch auf weniger Kritik stößt als BECCS«, schiebt die Wissenschaftlerin ein. Zweitens werden für BECCS sichere geologische Speicher benötigt, drittens sind die Kosten noch hoch, und schließlich wird die unterirdische Kohlenstoffspeicherung in der Bevölkerung vieler Länder wenig bis gar nicht akzeptiert. »Allerdings handelt es sich bei Bioenergie und CCS zumindest um zwei Methoden, die wir verstehen«, ergänzt Schäfer. Zudem sei der Ansatz lokal begrenzt und lasse sich notfalls auch wieder abbrechen. Wenig sinnvoll sei es dagegen, in Ökosysteme einzugreifen, die wir noch gar nicht richtig verstanden haben.

Damit spielt Schäfer auf marine Methoden wie die Ozeandüngung an, die ebenfalls heiß diskutiert wird. Dabei würde man das Meerwasser in großem Maßstab mit Makronährstoffen wie Phosphor und Stickstoff oder – in geringerem Maß – mit Mikronährstoffen wie Eisen düngen. Der gewünschte Effekt: Das Phytoplankton, das CO₂ aus der Atmosphäre zieht, vermehrt sich stark. Es wird vor allem von verschiedenen Arten von Algen gebildet. Sterben sie ab, sinken sie zusammen mit dem in ihnen gebundenen CO₂ hinunter zum Meeresboden. Hier, in den Tiefen des Ozeans, wäre das Kohlendioxid dann der Atmosphäre entzogen und nicht mehr klimawirksam. An dieser Methode wird bereits seit längerem geforscht, und zunächst erschien sie auf der Basis theoretischer Berechnungen durchaus vielversprechend. Mehr als ein Dutzend Experimente auf begrenzten Flächen und in erster Linie mit Eisen als Dünger verliefen jedoch ernüchternd: Die Algen wuchsen längst nicht so stark wie erwartet, das Eisen hielt sich nicht lang genug im Oberflächenwasser auf, und ein großer Teil des Phytoplanktons fiel dem Zooplankton zum Opfer, also verschiedenen Krebsarten, Wasserflöhen und sonstigen Tierchen, die sich über das zusätzliche Futter freuten.

»Die Feldversuche zeigten, dass positive Effekte nur unter ganz speziellen Bedingungen eintreten, die sehr selten sind«, sagt Schäfer. Fragwürdig ist die Ozeandüngung nicht nur, weil sie riesige Flächen braucht. »Sie greift auch in die sehr komplexen ozeanischen Nahrungsketten ein, ohne dass klar ist, welche Auswirkungen und Nebeneffekte das alles hat«, warnt der Wissenschaftler. Da das Phytoplankton zudem nur sehr langsam in die Tiefe sinkt, braucht es für diese Methode einen langen Atem. Aufgrund der unklaren Risiken und Nebenwirkungen wurden mit dem Londoner Protokoll vom Oktober 2013 nach jahrelanger Diskussion völkerrechtlich verbindliche Kontrollen für die Ozeandüngung und andere marine Geo-Engineering-Methoden eingeführt. Seitdem sind le-

diglich bestimmte Forschungsvorhaben erlaubt, sofern sie negative Umweltwirkungen ausschließen können.

Zurück zum anfangs geschilderten Dilemma: Was sollen wir tun, wenn wir auf CDR-Technologien nicht verzichten können, Risiken und (Neben-)Wirkungen aber noch unkalkulierbar sind? »Weiterforschen, Pilotprojekte durchführen, mehr darüber lernen«, antwortet Klimaökonomin Fuss. »Bei Methoden wie BECCS müssen wir große Feldversuche durchführen und so herausfinden, ob wir sie auch in der nötigen großen Dimension einsetzen können«, ergänzt Keller. »Geht es um Methoden wie die Ozeankalkung, ist Grundlagenforschung im Labor notwendig, um mehr über mögliche Nebenwirkungen und methodische Schwachstellen herauszufinden.« Problematisch sei es jedoch, dass es in den meisten Ländern keine großen Förderinitiativen und in der Folge auch nur wenige Wissenschaftler gibt, die sich überhaupt mit CDR befassen. Würden Regierungen und Wissenschaftsagenturen der Erforschung mehr Gewicht geben, kämen wir schneller an die notwendigen Informationen über Potenziale, Risiken und Grenzen. »Um mit CDR Effekte zu erzielen, sollten wir zudem mehrere unterschiedliche Methoden einsetzen, sowohl land- als auch ozeanbasierte«, ergänzt Keller. »Die eine ›magische‹ Lösung gibt es nicht.« Auch Fuss rät dazu, ein Portfolio aus unterschiedlichen Technologien zusammenzustellen, das die jeweiligen Chancen und Gefahren berücksichtigt. »Bis zu einem gewissen Risikograd könnte dann die eine Methode angewandt werden, dann eine andere. So ließe sich das Risiko insgesamt klein halten.«

Die meisten Forschungsvorhaben könnten ohne internationale Vereinbarungen durchgeführt werden, da sich ein Großteil der CDR-Methoden innerhalb nationaler Grenzen einsetzen ließen, sagt Keller. »Wo das nicht der Fall ist, könnten länderübergreifende Regelungen fehlen, zum Beispiel Nachhaltigkeitsstandards und Zertifizierungen von Biomasse eingesetzt werden, um eine Entwaldung in Exportländern einzuschränken«, ergänzt Fuss. Denn was sich beim CDR auf keinen Fall fortsetzen darf, das sind die Ungerechtigkeiten, die schon heute mit dem menschengemachten Klimawandel verbunden sind – verursacht wird er vor allem von industrialisierten Ländern der Nordhalbkugel, zu leiden haben vor allem die Länder der Südhalbkugel und hier insbesondere einige Inselstaaten. Entscheidend sei jedoch, betont Fuss, dass wir unsere Abhängigkeit von CDR-Technologien nicht noch weiter vergrößern, sondern kurzfristig unsere CO₂-Emissionen drastisch reduzieren. »Je weniger wir ausstoßen, desto weniger müssen wir zurückholen.«

1 Das Umweltbundesamt (UBA) hat schon 2011 ein Hintergrundpapier mit dem Titel »Geo-Engineering: wirksamer Klimaschutz oder Größenwahn?« herausgegeben. Darin werden unter anderem die einzelnen CDR-Methoden mit all ihren Facetten, Chancen und Risiken vorgestellt. Als kostenloser Download unter www.umweltbundesamt.de (Suchbegriff: Geo-Engineering).

2016 hat das UBA eine weitere Studie zum Thema Geo-Engineering veröffentlicht: »Geo-Engineering – Untersuchung und Bewertung von Methoden zum Geo-Engineering, die die Zusammensetzung der Atmosphäre beeinflussen«. Als kostenloser Download unter www.umweltbundesamt.de (Suchbegriff: Geo-Engineering).

Das Kiel Earth Institute hat sich ebenfalls intensiv mit dem Thema befasst: »Gezielte Eingriffe in das Klima? Eine Bestandsaufnahme der Debatte zu Climate Engineering. Sondierungsstudie für das Bundesministerium für Bildung und Forschung«, erschienen 2011. Als kostenloser Download unter www.kiel-earth-institute.de/sondierungsstudie-climate-engineering.html.