

NEGATIVE EMISSIONEN

Geochemie

Für immer
gebunden

Strategien

Wie man CO₂
wieder einfängt

Industrie

Kohlendioxid
als Rohstoff



Antje Findekle
E-Mail: findekle@spektrum.de

Liebe Lesende,
um dem Klimawandel entgegenzuwirken, müssen wir den Ausstoß von Treibhausgasen senken. Und es mehrer sich die Stimmen aus Expertenkreisen, dass das allein nicht ausreicht: Sie fordern, Kohlendioxid zudem gezielt aus der Atmosphäre zu entfernen. Es gibt eine ganze Reihe von Verfahren, von denen wir Ihnen einige in diesem »Spektrum Kompakt« vorstellen. Außerdem befassen wir uns mit einem innovativen Ansatz aus den Niederlanden, wie sich Häuser schnell und gut dämmen lassen, sowie der Frage: Wo steht Wasserstoff als Hoffnungsträger in dieser Diskussion?

Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 28.03.2022

Folgen Sie uns:



CHEFREDAKTION: Dr. Daniel Lingenhöhl (v.i.S.d.P.)

REDAKTIONSLEITUNG: Alina Schadwinkel (Digital),
Hartwig Hanser (Print)

CREATIVE DIRECTOR: Marc Grove

LAYOUT: Oliver Gabriel, Marina Männle

SCHLUSSREDAKTION: Christina Meyberg (Ltg.),
Sigrid Spies, Katharina Werle

BILDREDAKTION: Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe

REDAKTION: Antje Findekle, Dr. Michaela Maya-Mrschtik

VERLAG: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH,
Tiergartenstr. 15–17, 69121 Heidelberg, Tel.: 06221 9126-600,
Fax: 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114,
USt-IdNr.: DE229038528

GESCHÄFTSLEITUNG: Markus Bossle

ASSISTENZ GESCHÄFTSLEITUNG: Stefanie Lacher

MARKETING UND VERTRIEB: Annette Baumbusch (Ltg.),
Michaela Knappe (Digital)

LESER- UND BESTELLSERVICE: Helga Emmerich, Sabine Häusser,
Tel.: 06221 9126-743, E-Mail: service@spektrum.de

BEZUGSPREIS: Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer

ANZEIGEN: Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an anzeigen@spektrum.de.

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2022 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

INHALT



- 04 STRATEGIEN
Wie man Kohlendioxid wieder einfängt
- 11 INFOGRAFIK
Strategien gegen das Klimagas
- 14 BASALT
Vulkangestein soll Klimaziele retten
- 20 GEOCHEMIE
Für immer gebunden
- 35 DETEKTOR.FM
Kann CO₂-Speicherung im Boden
das Klima retten?
- 36 KOHLENDIOXID EINFANGEN
Briketts aus Treibhausgas
- 43 KLIMAPOLITIK
Kohlendioxid-Schulden als Technologie-
Entwicklungsturbo
- 48 KLIMASCHUTZ
Wie Kohlendioxid Erdöl ersetzen soll
- 56 ENERGETISCHES SANIEREN
Eine Hülle für Häuser
- 62 ENERGIEWIRTSCHAFT
Wege zum Wasserstoff

STRATEGIEN

WIE MAN KOHLENDIOXID WIEDER EINFÄNGT

von Katja Maria Engel

Riesige Staubsauger, Gesteinsmehl oder Bäume – Kohlendioxid kann man auf verschiedenen Wegen einfangen. Doch das Potenzial der Techniken ist unklar. Ein Überblick über die verschiedenen Negative-Emissionen-Technologien.

Die Bezeichnung mag ein bisschen kurios klingen, aber ohne sie geht es nicht: Negative Emissionen sind zwingend nötig, um das 1,5-Grad-Ziel zu erreichen. Längst nämlich ist zu viel Treibhausgas in die Atmosphäre gelangt, als dass eine reine Senkung des Ausstoßes für die in Paris vereinbarte Grenze ausreichen würde – so steht es im jüngsten Bericht des Weltklimarats IPCC. Die Lücke sollen Negative-Emissionen-Technologien (NET) schließen. So nennt man die große Vielfalt unterschiedlicher Verfahren, die nur eines gemeinsam haben: Sie senken den CO₂-Gehalt der Atmosphäre.

Der Begriff klinge zwar nicht so schön, sagt die Klimawissenschaftlerin Sabine

Fuss, aber es sei ja rein rechnerisch gemeint. Fuss hat im Rahmen des Weltklimaberichts ausgewertet, wie viel Klimagas, in diesem Fall Kohlendioxid, wieder aus der Luft entnommen werden muss, damit es einen – positiven – Effekt auf das Klima gibt. Sie ist Mitautorin der aktuellen Studie des gemeinnützigen Berliner Klimaforschungsinstituts MCC (Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change). Je nach Szenario müssen weltweit etwa 100 bis 1000 Milliarden Tonnen Kohlendioxid bis 2100 aus der Luft raus – zusätzlich zu den Klimaschutzmaßnahmen, die Treibhausgase zu reduzieren.

Rechnet man mit negativen Emissionen ab 2050, kommt man auf 2 bis 20 Milliarden Tonnen des Treibhausgases, die jedes Jahr aus der Atmosphäre zurückgeholt werden müssen. Zum Vergleich: Weltweit werden jährlich über 40 Milliarden

Vom 31. Oktober bis zum 12. November 2021 fand in Glasgow das 26. Treffen der Mitgliedsstaaten der Klimarahmenkonvention von Rio (Conference of the Parties, COP) statt. Unsere aktuelle Berichterstattung können Sie im Liveblog nachlesen. Mehr rund um Klimawandel und Klimaschutz finden Sie auf unserer Themenseite.

Tonnen freigesetzt. Doch welche Technologien sorgen für einen Minusposten in der Klimabilanz, was bringen die verschiedenen Arten der Rückholung?

Senke 1: Bäume als natürliche Maßnahme – 0,5 bis 3,6 Milliarden Tonnen Minus Kohlendioxid jährlich ab 2050

Vielleicht ist es die schönste Art, CO₂ einzufangen – sofern die Bäume nicht in Monokulturen angepflanzt werden. Sie anzupflanzen ist erprobt, natürlich und kann die Artenvielfalt erhalten. Einen kleinen Teil könnte auch die Wiederbepflanzung der Meere mit Seegras beisteuern, das ebenfalls CO₂ bindet. Laut MCC-Studie könnten neue Wälder maximal 3,6 Milliarden Tonnen jährlich binden. Andere Studien kommen auf dreifach höhere Werte – würde man alle ehemaligen Wälder, die heute Weideflächen sind, in den Urzustand zurückversetzen. Dann müsste aber auch der Fleischkonsum drastisch sinken.

Das MCC schätzt konservativer und berücksichtigt, dass Bäume den gebundenen Kohlenstoff irgendwann wieder abgeben, wenn sie absterben und verrotten oder bei Waldbränden. Klimaforscher

Stefan Rahmstorf fordert deswegen, Häuser mit Holz an Stelle von Beton zu bauen. Das hätte gleich einen doppelten Effekt: Das Kohlendioxid wäre länger gespeichert, und das Holz ersetzt außerdem den klimaschädlichen Beton. Ein 85 Meter hohes, aus Holz errichtetes Hochhaus in Norwegen zeigt, dass solche Bauten funktionieren.

Senke 2: BECCS – Biomasse verbrennen und das CO₂ einfangen – 0,5 bis 5 Milliarden Tonnen

Auf Pflanzen setzt auch ein anderer Plan. Nur werden hier Bambus, Holz oder Mais angepflanzt, um sie dann zu verbrennen. Das CO₂ soll am Schornstein abgefangen und gespeichert werden. Diese Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung, kurz BECCS genannt, hat den Nachteil, dass die Energiepflanzen Ackerfläche verbrauchen. Dadurch konkurrieren sie mit dem Anbau von Lebensmitteln. Das großflächige Kultivieren hat zudem negative Auswirkungen auf Ökosysteme, Wasserhaushalt, Boden- und Wasserqualität. Und vieles hängt davon ab, wie gut das Gas tatsächlich wieder eingefangen werden kann.

Berechnungen für fossile Kraftwerke zeigen, wie hoch die Verluste sein können. Hier macht Kohlendioxid rund 14 Prozent der Abgase aus und ist damit recht hoch konzentriert. Doch auch unter diesen günstigen Bedingungen würden nur 65 bis 80 Prozent der Gesamtmenge durch anschließende Speicherung dauerhaft aus der Luft geholt, berichtet das Umweltbundesamt. Um die Filter zu betreiben, ist noch einmal zusätzliche Energie nötig. Allein dafür müssten bis zu 40 Prozent mehr Rohstoffe verbrannt werden.

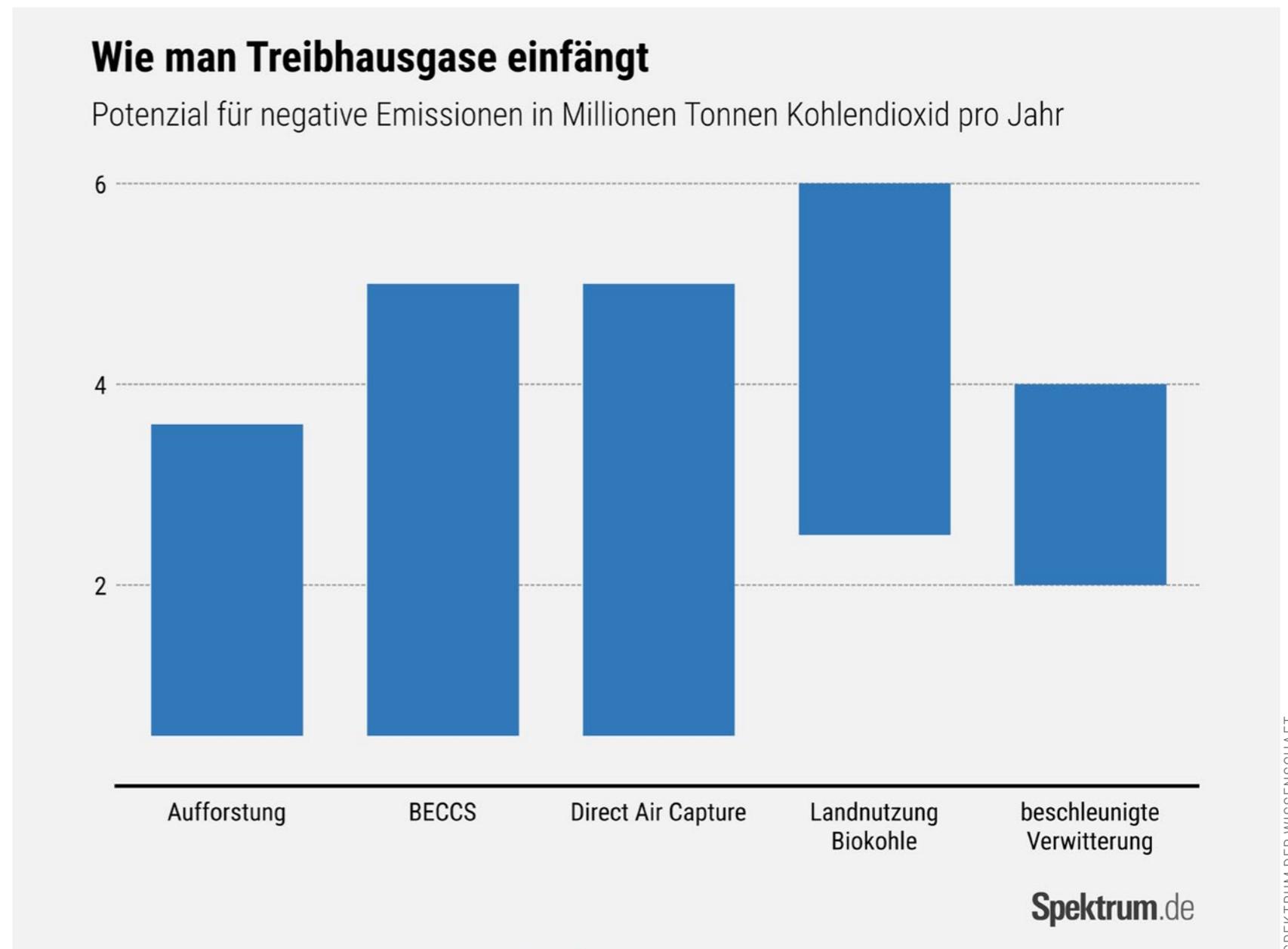
Senke 3: Direkt aus der Luft gegriffen – die großen Staubsauger: 0,5 bis 5 Milliarden Tonnen

Im Vergleich zu Verbrennungsgasen hat die Umgebungsluft einen sehr geringen Kohlendioxidanteil von 0,04 Prozent. Und es erscheint mühsam, diesen direkt aus der Luft herauszufischen. Doch es gibt Unternehmen, die dieses als Direct Air Capture (DAC) bezeichnete Verfahren vorantreiben und zur Marktreife bringen wollen. Darunter sind Climeworks aus der Schweiz und das kanadische Unternehmen Carbon Engineering.

Zurzeit gibt es weltweit rund 15 kleine Pilotanlagen. Im September 2021 verkündete Climeworks in Island den Betrieb der »weltweit größten klimapositiven Direktluftabscheideanlage« mit dem Namen »Orca«. Aufgestapelt in einer riesigen Wand saugt eine ganze Batterie von Ventilatoren die Umgebungsluft an, um das Kohlendioxid herauszufischen. Orca soll jährlich 4000 Tonnen CO₂ aus der Luft entfernen. Der Nachteil dieser Technik ist, dass die Pumpen viel Energie verbrauchen. Und es ist zusätzlich Wärmeenergie nötig, um das Gas wieder aus den Filtern zu entfernen. Wenn diese Wärme nicht aus ohnehin vorhandener industrieller Prozesswärme stammt, braucht man die Energie eines 500-Megawatt-Kraftwerks, um eine Million Tonnen Gas aus den Filtern herauszuholen.

Senke 4: Optimierte Landwirtschaft und Holzkohle – 2,5 bis 6 Milliarden Tonnen

Aus der Luft gefischt werden kann es eigentlich auch mit landwirtschaftlich genutzten Böden. Denn wenn die Landwirte oder -wirtinnen anders pflügen oder auf tief wurzelnde Pflanzen setzen, die besser Kohlendioxid binden, können be-



trächtliche Mengen an CO₂ gebunden werden. Der große Vorteil: Vieles davon ist erprobt. Allerdings kann das mit diesen landbasierten Techniken gebundene CO₂ bei ungünstigen Bedingungen wie Feuer, Schädlingsbefall oder wieder geänderter landwirtschaftlicher Bearbei-

tung erneut freigesetzt werden. Wenn die Beweidung und die Landwirtschaft darauf optimiert werden, sind jedoch bis zu fünf Milliarden Tonnen im Jahr zusätzlich drin – im Boden. Einen weiteren Zusatzeffekt könnte Holzkohle bringen, die auf die Böden verteilt wird. Die Verweil-

zeiten von Kohle liegen zwischen Jahrzehnten und Jahrhunderten. Außerdem kann diese so genannte Biokohle die Ernterträge verbessern.

Senke 5: Pulverisierte Gesteine – 2 bis 4 Milliarden Tonnen CO₂

Es muss nicht nur landwirtschaftlicher Boden sein. Böden jedweder Art können Gesteinen helfen, zu regelrechten Kohlendioxid-Aufsaugern zu werden. Wenn pulverisierte Basalte oder Mantelgesteine wie Peridotit fein gemahlen auf Böden verteilt werden, setzt chemische Verwitterung ein. Die Gesteine reagieren mit Kohlendioxid und binden dieses als festes Karbonat. Der Vorgang entspricht der natürlichen Gesteinsverwitterung, geht aber viel schneller, denn die durch Zerkleinern des Gesteins vergrößerte Oberfläche bietet viel Angriffsfläche für die chemische Reaktion. Beide Gesteinsarten sind zudem in großen Mengen als festes Gestein auf der Erde vorhanden.

Doch wie sich das in der Landwirtschaft oder auf anderen Flächen auf das Ökosystem in diesen Mengen auswirkt, ist bislang unklar. Praktische Forschung gibt es dazu derzeit kaum. Denn mit dem

Entzug von Kohlendioxid wird auch der Boden alkalischer, einige Basalte enthalten giftige Metalle, und die CO₂-Bilanz kann je nach Anwendung sehr unterschiedlich sein. Würde man das Gesteinsmehl gar mit Flugzeugen ausbringen, was zum Beispiel bei großen Waldflächen nötig wäre, könnte die Klimabilanz glatt wieder auf null hinauslaufen.

Senke 6: Ozeandüngung – aus dem Rennen?

Ein anderer massiver Eingriff in ein Ökosystem ist die Ozeandüngung. Bei dieser bis vor einigen Jahren intensiv verfolgten und mehrfach im Meer getesteten Technik verteilen Schiffe großflächig Eisen oder andere Nährstoffe in ausgewählten Meeresgebieten, in denen daran Mangel herrscht. Das regt das Wachstum von Algen an, die dabei Kohlenstoffdioxid binden. Sterben die Algen ab, sollten sie optimalerweise zusammen mit dem entfernten Klimagas zu Boden sinken. Allerdings ist es um dieses Verfahren still geworden, denn es greift massiv in das marine Ökosystem ein. Die Meere in einem für einen echten Klimaeffekt nötigen Ausmaß zu düngen, birgt nach Ansicht vieler Fachleu-

te enorme Risiken – zumal Zweifel an der Effektivität der Technik bestehen. Außerdem gibt es rechtliche Hürden: Das Einbringen von Fremdstoffen in die Ozeane ist durch die Londoner Konvention zur Verhütung der Meeresverschmutzung seit 1972 schlicht verboten.

Die Speicher: Storage – für ewig weggesperrt?

Wenn das Kohlendioxid aus Luft oder Abgasen technisch eingesammelt wird, muss es anschließend sicher und dauerhaft gelagert werden. Aus Klimaschutzsicht würden einige tausend Jahre sicherer Verwahrung schon reichen. Lagerorte im Untergrund sind eine Möglichkeit, in die es unter Druck gepresst wird. Norwegen drückt schon seit 25 Jahren CO₂ unter den Meeresboden der Nordsee. Dort soll genügend Platz sein für 200 Milliarden Tonnen des Gases. Leckagen könnten allerdings den Meeresgrund ernsthaft schädigen. Die Schwierigkeit: Es gibt keine richtigen Technologien, um solche Stellen überhaupt aufzuspüren.

Auch bei der Speicherung in leeren Erdgasspeichern an Land wäre ein Monitoring und Warnsystem im Stil von