

Ausgabe 1

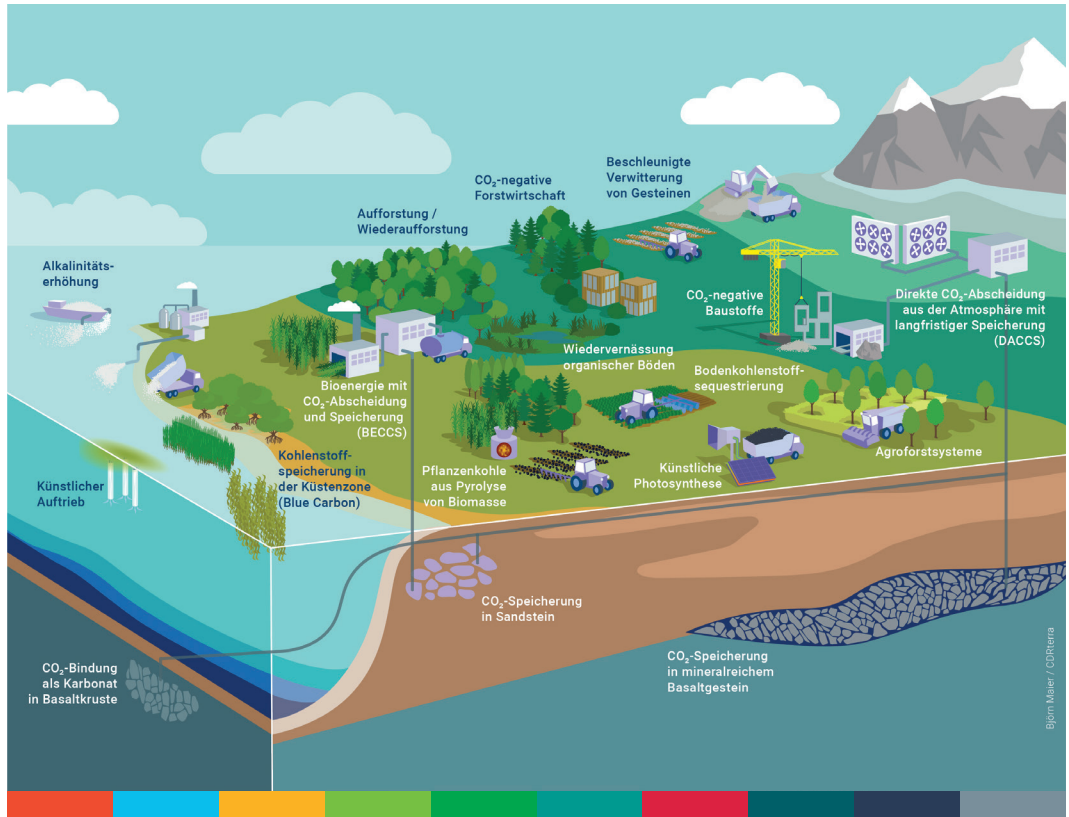
Herbst/Winter 2023/24



GEFÖRDELT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Björn Maier / CDRterra

CDR – weil Emissionsreduktion alleine nicht genügt, um die Klimaziele zu erreichen

Eine Informationsbroschüre für
Lehrpersonen der Sekundarstufe 2

Liebe Lehrerinnen und Lehrer,

Deutschland hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2045 treibhausgasneutral zu werden. Dieses Klimaziel wurde im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegt. **Treibhausgasneutral** heißt, dass insgesamt genauso viel Treibhausgase (vor allem CO₂) der Atmosphäre entnommen werden, wie auch freigesetzt werden. Wie soll das erreicht werden? Möglichkeiten, um der Atmosphäre Treibhausgas zu entnehmen, nennt man CDR. Diese Abkürzung steht für „Carbon Dioxide Removal“. Mittlerweile wurden verschiedene Methoden entwickelt, die hierfür in Frage kommen. Unabhängige Forschung zu diesen Möglichkeiten ist besonders wichtig, damit wir als Gesellschaft gute, wissenschaftsbasierte Entscheidungen hinsichtlich des Einsatzes dieser Möglichkeiten treffen können.



WAS ERWARTET SIE IN DIESER BROSCHÜRE?

Diese Broschüre wurde von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern im Forschungsprogramm CDRterra entwickelt. Das Forschungsprogramm erforscht naturwissenschaftliche, politische, technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Fragen zu CDR. Die Broschüre gibt Ihnen als Lehrperson einen ersten Überblick über CDR und wie das Thema im Unterricht aufgegriffen werden kann.

Stellen Sie sich vor: im Jahr 2045 werden einige Ihrer Schülerinnen und Schüler, die aktuell 15 Jahre alt sind, 37 Jahre alt sein. Auch wenn die Reduktion von Treibhausgasen Priorität haben sollte, wird im Laufe des Prozesses hin zur Treibhausgasneutralität der Diskurs um Entnahme zunehmend wichtiger werden. Mit unserer Forschung wollen wir Sie dabei unterstützen, Ihre Schülerinnen und Schüler auf diese Fragen vorzubereiten.

Ihre Julia Pongratz und das CDRterra Bildungsteam
Dr. Katrin Geneuss, Prof. Dr. Imke Hoppe, Dr. Sally Soria-Dengg

Prof. Dr. Julia Pongratz, CDRterra-Sprecherin
www.cdrterra.de

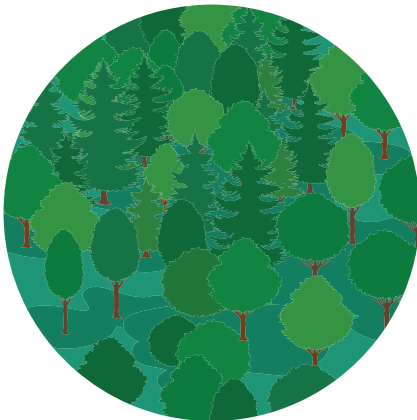
EMISSIONSREDUKTIONEN ALLEINE REICHEN NICHT

Emissionsreduktionen sind zweifellos die wichtigsten Klimaschutzmaßnahmen. Es müssen aber zusätzlich Verfahren zur Kohlendioxidentnahme (Carbon Dioxide Removal, CDR) angewendet werden. Laut Weltklimarat (IPCC) wird CDR definiert als menschliche Aktivität, mit welcher CO₂ aus der Atmosphäre entnommen und dauerhaft gespeichert wird. Die CDR-Maßnahmen müssen diese drei Grundprinzipien erfüllen: 1. Das entnommene Kohlendioxid muss aus der Atmosphäre stammen. 2. Die anschließende Speicherung muss sicher und dauerhaft sein. 3. Die Kohlendioxidentnahme muss durch menschliche Aktivitäten und zusätzlich zu den natürlichen Aufnahmeprozessen der Erde erfolgen. Die folgenden Grafiken und Kurzbeschreibungen stellen einige CDR-Methoden vor:



Agroforstsysteme

Landwirtschaftliche Kulturen mit Gehölzen zu kombinieren, kann in Vegetation und Böden Kohlenstoff binden. Das CO₂-Entnahmepotenzial von Agroforstsystemen ist unter anderem abhängig von der Baumart und der Bepflanzungsdichte der Gehölze, aber auch davon, wie die Acker- oder Graslandpflanzen mit den Gehölzen interagieren.



Aufforstung, Wiederaufforstung & Wiederherstellung der Waldfunktionen

Die Pflanzung neuer Bäume bindet zusätzliches Kohlendioxid aus der Atmosphäre – ihre verholzten Pflanzenteile bieten im Vergleich zu krautigen Pflanzen langlebige CO₂-Speicher. **Aufforstung** bedeutet die Schaffung neuer Wälder. **Wiederaufforstung** beschreibt die Bewaldung von Flächen, die einst gerodet wurden. Die **Wiederherstellung der Waldfunktionen** heißt, die Schädigung von Wäldern wieder gutzumachen. Schädigungen treten durch menschliche Störungen wie Holzeinschlag oder Umwandlung in artenarme Monokulturen auf und können durch natürliche Störungen wie Schadinsekten verstärkt werden.



CO₂-negative Forstwirtschaft

Wie viel CO₂ ein bestehender Wald binden und speichern kann, wird auch durch seine Bewirtschaftung beeinflusst – zum Beispiel dadurch, welche Artenzusammensetzung vorliegt, wann und in welchem Umfang die Holzernte stattfindet und in welcher Weise das Holz anschließend verwendet wird.



Beschleunigte Verwitterung von Gesteinen

Bei der Verwitterung von Gesteinen wird der Atmosphäre dauerhaft CO₂ entzogen – die natürliche Verwitterung ist aber ein langsamer geochemischer Prozess. Durch Abbau von Gesteinen, deren Verarbeitung zu Gesteinsmehl und anschließendes Ausbringen auf landwirtschaftliche Böden oder im Meer wird dieser Prozess extrem beschleunigt. Je nach Gesteinsart kann unterschiedlich viel CO₂ zurück ins Erdsystem geführt werden.



Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung (Bioenergy with Carbon Capture and Storage – BECCS)

Diese Methode umfasst zwei Prozesse: Biomasse bindet beim Wachsen CO₂. Durch Verbrennung wird sie in Energie (Wärme, Strom oder Kraftstoffe) umgewandelt, wodurch teils fossile Energieträger ersetzt werden. Zu einer langfristigen Kohlenstoffentnahme führt die Methode aber erst durch die Abscheidung des bei der Verbrennung freigesetzten CO₂ und seiner Speicherung in geologischen Formationen oder langlebigen Produkten.



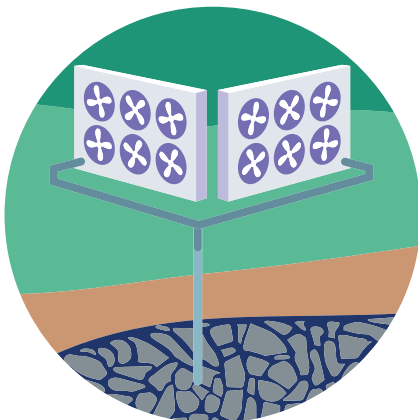
Pflanzenkohle

Pflanzenkohle wurde bereits in prähistorischer Zeit zur Verbesserung der Bodenqualität eingesetzt, stellt aber auch eine Methode zur Kohlenstoffentnahme dar. Sie entsteht durch die Verkohlung von Biomasse in einer sauerstoffarmen Umgebung bei hoher Temperatur (Pyrolyse). Diese enthält weiterhin den zuvor gebundenen Kohlenstoff aus atmosphärischem CO_2 und kann Teile davon jahrhundertlang speichern. Meist wird sie auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht.



CO_2 -negative Baustoffe

Bei der Herstellung von Baustoffen wie Zement oder Stahl wird viel CO_2 ausgestoßen. Der Ersatz dieser Materialien durch CO_2 -negative Baustoffe kann diese Emissionen vermeiden sowie zusätzliches Kohlendioxid aus der Atmosphäre binden und speichern. Dazu gehören sowohl langlebige Holzprodukte als auch Materialsysteme zum Beispiel aus Gestein und Carbonfasern.



Direkte CO_2 -Abscheidung aus der Atmosphäre mit langfristiger Speicherung (Direct Air Carbon Capture and Storage – DACCS)

CO_2 wird über technische Anlagen direkt aus der Atmosphäre gefiltert. Anschließend kann es gasförmig oder verflüssigt in geologische Lagerstätten eingebracht und dort für lange Zeiträume gespeichert werden.



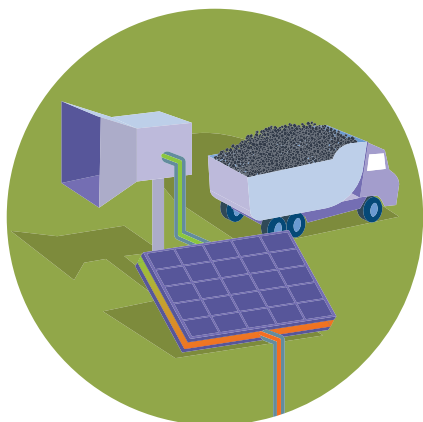
Renaturierung von Mooren

Trockengelegte Moore setzen CO_2 in die Atmosphäre frei, weil das – teils sehr alte – Pflanzenmaterial nicht mehr durch nasse Bedingungen vor der Zersetzung bewahrt wird. Bei der Renaturierung durch Wiedervernässung wird wieder CO_2 im Torfkörper gebunden. Durch Paludikultur, also „nasse Landwirtschaft“, und Nutzung in langlebigen Produkten kann die CO_2 -Speicherung noch erhöht werden. Vor allem aber ist die Wiedervernässung als Emissionsreduktionsmaßnahme zu sehen.



Kohlenstoffsequestrierung in Böden

Böden nehmen Kohlenstoff durch Pflanzenbiomasse auf und geben diesen durch die Atmung der Mikroorganismen in Form von CO_2 wieder ab. Durch eine erhöhte Zufuhr von Biomasse und eine Verringerung des Abbaus kann der Bodenkohlenstoffspeicher vergrößert werden. Hierfür gibt es unterschiedliche Bodennutzungs- und -bewirtschaftungsmethoden wie veränderte Fruchtfolgen, Zwischenfrüchte, das Liegenlassen von Ernterückständen oder weniger intensive Bodenbearbeitung.



Künstliche Photosynthese

Bei der künstlichen Photosynthese soll mithilfe eines photoelektrochemischen Verfahrens CO_2 aus der Atmosphäre aufgenommen und in kohlenstoffreiche Produkte wie Oxalat oder Kohlenstoffflocken umgewandelt werden. Diese könnten anschließend langfristig eingelagert werden.



WICHTIGE BEGRIFFE

TREIBHAUSGASNEUTRALITÄT

Der Begriff „Treibhausgasneutralität“, umgangssprachlich oft auch „Klimaneutralität“ genannt, steht für eine rechnerische Null (Netto-Null) aller durch menschliche Aktivitäten hervorgerufenen Treibhausgasemissionen – Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) sowie einige andere Gase in vergleichsweise geringeren Konzentrationen. Diese Gase werden der Einfachheit halber in CO_2 -Äquivalente umgerechnet, um die benötigte Entnahmemenge von Kohlendioxid zu bestimmen. Für eine Netto-Null der Treibhausgasemissionen müssen demzufolge mehr Emissionen vermieden oder mehr Kohlendioxid entnommen werden, als es für eine Netto-Null der Kohlendioxidemissionen alleine nötig wäre.

EMISSIONSREDUKTION

Die aktuell sehr hohen Treibhausgasemissionen müssen ab sofort drastisch und umfassend reduziert werden, um das Ziel der Treibhausgasneutralität zu erreichen. Das heißt, der Emissionsreduktion und -vermeidung muss von nun an eine viel höhere Priorität eingeräumt werden. Die dazu notwendigen Transformationen sind bekannt: Es bedarf einer schnellen Umstellung auf Strom aus erneuerbaren Energien und eines ambitionierten Hochlaufs von daraus erzeugtem Wasserstoff als wichtigste Energieträger, einer möglichst umfassenden direkten Elektrifizierung in allen Sektoren sowie anderer Ernährungsgewohnheiten, um nur einige von vielen Maßnahmen zu nennen.

RESTEMISSIONEN

Restemissionen werden verbleiben, weil die Gesellschaft bestimmte Aktivitäten als notwendig erachtet, deren Treibhausgasausstoß sich jedoch technisch nicht vollständig oder aber nur zu enorm hohen Kosten vermeiden lassen wird. Soll das Ziel der Treibhausgasneutralität erreicht werden, müssen diese Restemissionen durch eine gezielte Entnahme von Treibhausgasen aus der Atmosphäre ausgeglichen und das entnommene Gas dauerhaft von der Atmosphäre ferngehalten werden. Dabei ist gesellschaftlich noch nicht ausgehandelt, welche Emissionen zukünftig als „schwer vermeidbar“ vereinbart werden. Fachleute gehen derzeit davon aus, dass vor allem bei der Nutztierhaltung, beim Einsatz von Düngemitteln, bei industriellen Prozessen sowie im Flugverkehr und bei Schwerlasttransporten Emissionen von Kohlendioxid, aber auch von Methan und Lachgas, verbleiben werden.



ANREGUNGEN FÜR IHREN UNTERRICHT

Die nachfolgenden Praxisvorschläge gingen als gute und niederschwellig umsetzbare Unterrichtsideen aus der CDR-Bildungskonferenz hervor, die im Oktober 2023 im Deutschen Museum in München stattfand.

CDR-Basics: Gruppenteilige Vorstellung der Entnahmemethoden

Mix and match: Zuordnen der richtigen Grafiken zu den entsprechenden Texten.

Vermeidung first: Wie kann CO₂-Ausstoß reduziert und vermieden werden?

20-Min. Video: Prof. Harald Lesch und Prof. Julia Pongratz erklären auf ZDF terraX die Basics und legen die Komplexität des Themas verständlich dar: „Das ist die Lösung: CO₂-Entnahme“ | Harald Lesch | Terra X Lesch & Co
<https://www.zdf.de/play/dokus/terra-x-lesch-und-co-alle-videos-100/lesch-und-co-wir-brauchen-co2-entnahme-100>



30-Min. Video: Prof. Julia Pongratz, Prof. Andreas Oeschles, Dr. Christine Merk „Kann Geoengineering das Klima retten?“ | ARTE | 42 - Die Antwort auf fast alles <https://www.arte.tv/de/videos/101938-006-A/kann-geoengineering-das-klima-retten/>



MINT-Lehrpersonen aufgepasst: Experimente für Ihren MINT-Unterricht finden Sie in der nächsten Ausgabe dieser Broschüren-Reihe im Frühjahr/ Sommer 2024 und demnächst zum Herunterladen auf <https://cdrterra.de>

CDRterra – Forschungsprogramm zu landbasierten Methoden der Kohlendioxidentnahme

Im Forschungsprogramm CDRterra (www.cdrterra.de) untersuchen über 100 Forschende in zehn Verbundprojekten, wie und in welchem Umfang Methoden zur Kohlendioxidentnahme aus der Atmosphäre dazu beitragen können, den Klimawandel zu begrenzen. Dabei berücksichtigen sie politische, ökologische, technische, ökonomische und gesellschaftliche Fragen. Das Ziel der Forschenden ist, die Potenziale und Risiken der verschiedenen Verfahren umfassend und einheitlich zu bewerten.

IMPRESSUM

Prof. Dr. Julia Pongratz, julia.pongratz@lmu.de
Ludwig-Maximilians-Universität München
Geschwister-Scholl-Platz 1, 80539 München
Design und Grafiken: Björn Maier // Dezember 2023

Autoren

Dr. Katrin Geneuss, katrin.geneuss@lmu.de
Prof. Dr. Imke Hoppe, imke.hoppe@lmu.de
Dr. Michael A. Miller, michael.miller@lmu.de
Prof. Dr. Julia Pongratz, julia.pongratz@lmu.de