Swiss Carbon Removal Platform

RISIKO_DIALOG
ZUKUNFT GESTALTEN. GEMEINSAM.

November 2023

carbon-removal.ch/de/qa

Swiss Carbon Removal Platform

RISIKO_DIALOG
ZUKUNFT GESTALTEN. GEMEINSAM.

Q&A

Fragen und Antworten zur CO_2-Entnahme und -Speicherung

im Allgemeinen und im Kontext der Schweiz

In Kürze

Nur wenn der CO_2-Gehalt in der Atmosphäre nicht weiter ansteigt, können wir die Erderwärmung begrenzen. Dazu gibt es einerseits Massnahmen zur Reduktion von CO_2-Emissionen und andererseits Ansätze zur Reduktion des CO_2-Gehalts in der Atmosphäre. Solche Methoden zur CO_2-Entnahme und -Speicherung werden auch als Negativemissionstechnologien (NET) bezeichnet. Sie umfassen eine Vielzahl von Ansätzen, um CO_2 aus der Atmosphäre zu entfernen und langfristig speichern. Das entfernte CO_2 kann dabei dauerhaft im Untergrund oder in langlebigen Produkten (z.B. Baumaterial) gespeichert werden.

Bis die CO_2-Entnahme und -Speicherung grossflächig eingesetzt werden kann, müssen noch einige Fragen geklärt werden. Ausserdem werden Massnahmen der CO_2-Entnahme und -Speicherung auch wegen den hohen Kosten vor allem für solche Emissionen verwendet, die auch künftig schwer zu vermeiden sind (beispielsweise Emissionen aus der Landwirtschaft). Demzufolge bleibt die grundsätzliche Vermeidung von Treibhausgas-Emissionen weiterhin zentral für den Klimaschutz. Der Prozess der CO_2-Abscheidung direkt an einer Emissionsquelle und die anschliessende Speicherung (engl. carbon capture and storage, CCS) werden häufig gemeinsam mit der CO_2-Entnahme und -Speicherung genannt. Eine genauere Erklärung, weshalb dies nicht miteinander verwechselt werden darf und wieso sie doch miteinander zu tun haben, lesen Sie bei Frage 6.

Die Fragen und Antworten zur CO_2-Entnahme und -Speicherung wurden mit Unterstützung vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) im Rahmen der Swiss Carbon Removal Platform, eine Initiative der Stiftung Risiko-Dialog, erarbeitet.

RISIKO_DIALOG
ZUKUNFT GESTALTEN. GEMEINSAM.

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Das Entfernen von CO_2 aus der Atmosphäre und das anschliessende langfristige Speichern kann eine entscheidende Rolle im Klimaschutz spielen. Aber wie funktioniert die CO_2-Entnahme und -Speicherung eigentlich? Wird dies heute bereits eingesetzt? Und was sagen unsere Gesetze dazu?

Angesichts des fortschreitenden Klimawandels drängt die Zeit für wirkungsvolle Massnahmen zur Eindämmung der menschengemachten Erderwärmung. Neben der Verminderung von Treibhausgasemissionen spielt dabei das Entfernen von CO_2 aus der Atmosphäre eine wichtige Rolle. Da in absehbarer Zukunft gewisse Emissionen bspw. aus der Landwirtschaft nicht vollständig vermeidbar sein werden, wird auch das Entfernen und Speichern von CO_2 nötig sein, um Netto-Null-Treibhausgasemissionen zu erreichen. Es gibt eine Vielzahl an Methoden für die CO_2-Entnahme und Speicherung zur Verringerung der atmosphärischen CO_2-Konzentration, welche auch als Negativemissionstechnologien (NET) bezeichnet werden. Doch wie funktioniert die CO_2-Entnahme aus der Atmosphäre? Wo kann das CO_2 gespeichert werden? Und worauf muss beim Ausbau von NET geachtet werden? Diese Fragen werden aktuell weltweit erforscht, anhand von Pilotanlagen erprobt und deren Umsetzung diskutiert.

Mit den folgenden Fragen und Antworten bieten wir eine Orientierung zum komplexen Thema der CO_2-Entnahme und -Speicherung. Sie beleuchten deren Rolle, sowohl im globalen Klimaschutz als auch spezifisch für die Schweiz. An einigen Stellen bieten Hinweise auf zusätzliche Informationsquellen die Möglichkeit zur weiteren thematischen Vertiefung.

Die Einführung neuer Technologien hat ihren Preis und geht mit vielen Erwartungen, Unsicherheiten und Befürchtungen einher – so auch beim Klimaschutz. Das Entfernen von CO_2 aus der Atmosphäre verfolgt gesamtgesellschaftlich betrachtet ein Ziel: die Minderung der Erderwärmung und daraus resultierender katastrophalen Folgen. An diesem Ziel müssen sich die Methoden der CO_2-Entnahme und -Speicherung wie auch andere Klimaschutzmassnahmen primär messen lassen. Hinzu kommt die Frage, um welchen Preis diese Technologien ethisch, ökologisch und ökonomisch tragbar sind. Diese Fragen müssen in Gesellschaft und Politik immer wieder neu ausgehandelt werden. Die Evaluierung neuer technologischer Möglichkeiten spielt dabei genauso eine Rolle, wie die grundlegende Diskussion über den Umgang der Gesellschaft mit der Klimakrise. Denn nur wenn der nachhaltige Ausbau solcher Technologien in den kommenden Jahrzehnten gelingt, können diese zusätzlich zur konsequenten Reduktion von Treibhausgasemissionen zum Einhalten der 1,5-Grad-Grenze beitragen. Den rechtlichen Rahmen hierfür in der Schweiz liefert das Klima- und Innovationsgesetz (KIG). Doch auf dem Weg zu Netto-Null, sind noch viele Fragen offen.

Damit die CO_2-Entnahme und -Speicherung nachhaltig zum Klimaschutz beiträgt, muss sichergestellt werden, dass aus der Atmosphäre entferntes CO_2 langfristig und sicher ausserhalb der Atmosphäre gespeichert wird und zugleich mögliche Umweltauswirkungen dabei berücksichtigt werden. Für die gesellschaftliche Akzeptanz spielt es zudem eine wichtige Rolle, Kosten und Nutzen fair zu verteilen und den Prozess transparent zu gestalten. Zu diesem Zweck möchte die Swiss Carbon Removal Platform einen Beitrag zu einer informierten Debatte rund um das Thema CO_2-Entnahme und -Speicherung in der Schweiz leisten.

1) Was bedeutet Netto-Null?

Netto-Null-Treibhausgasemissionen bedeutet, dass die Menge an menschengemachten Treibhausgasemissionen der Menge vom Menschen aus der Atmosphäre entferntem CO_2 entspricht. Netto-Null strebt somit an, dass der Anteil an Treibhausgasen in der Atmosphäre konstant bleibt und nicht weiter ansteigt. Nicht alle Emissionen lassen sich in absehbarer Zeit auf null reduzieren, weshalb zusätzlich zur Emissionsreduktion die Entnahme von CO_2 aus der Atmosphäre für das Erreichen von Netto-Null unabdingbar ist. Deshalb müssen Methoden zur CO_2-Entnahme und -Speicherung rasch entwickelt und ausgebaut werden, um die verbleibenden, schwer vermeidbaren Emissionen auszugleichen. Das Erreichen von Netto-Null beim wichtigsten Treibhausgas, dem CO_2, stellt eine wichtige Zwischenetappe dar, um den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur aufzuhalten. In der Schweiz soll das Netto-Null-Ziel bis 2050 erreicht werden. Das Klima- und Innovationsgesetz KIG, welches die Schweizer Stimmbevölkerung am 18. Juni 2023 angenommen hat, sieht zudem weitere Zwischenziele und eine Vorreiterrolle für Bund und Kantone vor.

2) Was ist die CO_2-Entnahme und -Speicherung?

Das Ziel der CO_2-Entnahme und -Speicherung ist es, die atmosphärische CO_2-Konzentration konstant zu halten oder gar zu verringern, indem CO_2 aus der Atmosphäre entfernt und dauerhaft gespeichert wird. So leistet die CO_2-Entnahme und -Speicherung einen Beitrag zum Klimaschutz und trägt zum Erreichen von Netto-Null bei. Dabei gibt es verschiedene Methoden für die CO_2-Entnahme und -Speicherung, welche auch als Negativemissionstechnologien (NET) oder Carbon Dioxide Removal (CDR) bezeichnet werden.

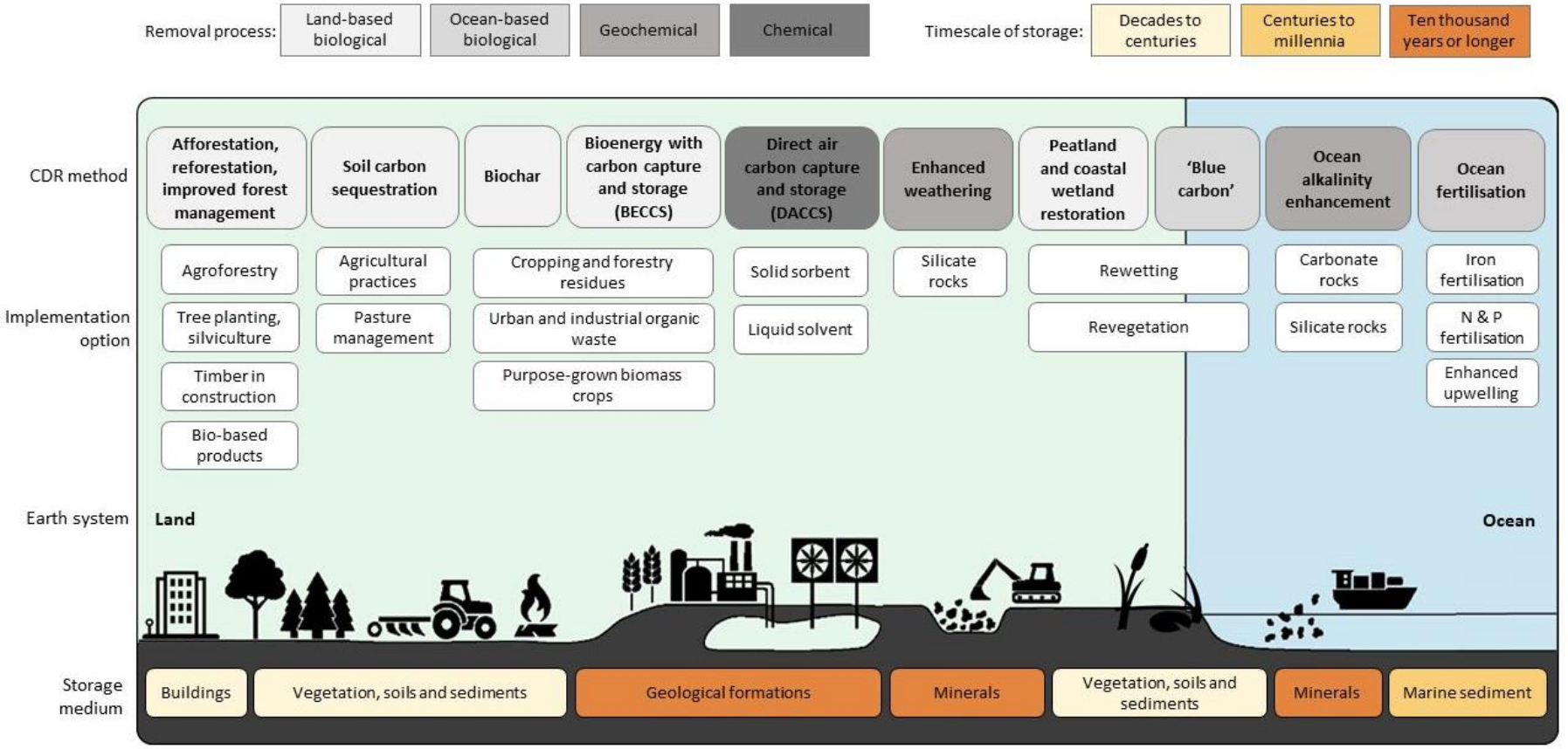
Der Prozess der CO_2-Abscheidung direkt an einer Emissionsquelle und die anschliessende Speicherung (engl. carbon capture and storage, CCS) werden häufig gemeinsam mit der CO_2-Entnahme und -Speicherung genannt. Diese sollten jedoch nicht verwechselt werden: Von Negativemissionen spricht man, wenn bereits emittiertes CO_2 wieder aus der Atmosphäre entfernt wird. CCS bezeichnet den Prozess, mit dem CO_2 direkt an der Emissionsquelle abgefangen wird, sodass es nicht in die Atmosphäre gelangt, sondern abgeschieden und gespeichert wird. CCS kann also für die Reduktion von Emissionen, etwa aus fossilen Brennstoffen, zum Einsatz kommen. Unter gewissen Umständen kann CCS jedoch auch Negativemissionen erzeugen (siehe Frage 5 und Frage 6).

Langfristig könnte die CO_2-Entnahme und -Speicherung auch historische Emissionen rückgängig machen, also die Menge an CO_2 in der Atmosphäre und dadurch die Erderwärmung wieder verringern. Bis dahin ist es jedoch noch ein weiter Weg. Für die Schweiz rechnet das Bundesamt für Umwelt (BAFU) mit mehreren Millionen Tonnen CO_2, welche mindestens für ein nationales Netto-Null-Ziel bis 2050 jährlich aus der Atmosphäre entfernt werden müssen (siehe Frage 9: Welche Rolle spielt die CO_2-Entnahme und -Speicherung für die Schweizer Klimaziele?). Global geht es laut den Szenarien des IPCC-Berichts von 2022 sogar um 10 bis 20 Milliarden Tonnen pro Jahr. Damit die Technologien dazu bis spätestens 2050 in ausreichendem Umfang für die Erreichung des Schweizer Netto-Null-Ziels zur Verfügung stehen, müssen jetzt die Weichen gestellt und vielversprechende Ansätze erprobt und umgesetzt werden.

3) Welche Ansätze zur CO_2-Entnahme aus der Atmosphäre werden derzeit diskutiert?

Ein breites Portfolio an verschiedenen Ansätzen wird derzeit erforscht, getestet und bereits umgesetzt. Alle haben gemeinsam, dass sie im Kern auf die Entfernung von CO_2 (oder anderen Treibhausgasen) aus der Atmosphäre abzielen. Die Wirkungsweisen dieser verschiedenen Methoden zur CO_2-Entnahme und -Speicherung unterscheiden sich teils stark. Beispiele dafür sind die Aufforstung, Forstmanagement und Holznutzung, die Produktion und Speicherung von kohlenstoffreicher Pflanzenkohle, der Aufbau von Kohlenstoff in Böden, die direkte CO_2-Entnahme aus der Atmosphäre mit anschliessender Speicherung (engl. direct air carbon capture and storage, DACCS), die beschleunigte Verwitterung, die Aufnahme von Kohlenstoff aus der Atmosphäre in Zement, Bioenergie mit CO_2-Abscheidung und -Speicherung (engl. bioenergy carbon capture and storage, BECCS) oder auch die Erhöhung der Alkalität von Meerwasser.

All diese unterschiedlichen Methoden haben gemeinsam, dass das CO_2 erst gebunden und dann gespeichert werden muss. In einem ersten Schritt muss das CO_2 aus der Atmosphäre gebunden werden. Dies geschieht etwa durch biologische (Photosynthese), geochemische (Verwitterung) oder chemische Prozesse. In einem zweiten Schritt stellt sich die Frage der Speicherung: Als Kohlenstoffspeicher kommen beispielsweise Vegetation, Böden, Sedimente, Mineralien, geologische Formationen, langlebige Materialien und die Ozeane in Frage. Dabei kann der Kohlenstoff in Form von konzentriertem CO_2 oder in organischen (Biomasse) und mineralischen Verbindungen gespeichert werden – Hauptsache, er gelangt nicht wieder in die Atmosphäre. Angesichts der Vielzahl an Prozessen, welche zum Einsatz kommen, verwundert es kaum, dass es zwischen den einzelnen Ansätzen grosse Unterschiede in Standortanspruch, Ressourcenbedarf, Nebenwirkungen und Kosten gibt. Während manche davon in bestehende Prozesse wie die Energieerzeugung oder Landwirtschaft integriert werden können, benötigen andere neue Anlagen und Infrastrukturen. Eine wissenschaftliche Einordnung verschiedener Methoden zur CO_2-Entnahme aus der Atmosphäre bietet folgende Grafik des IPCC aus dem Jahr 2022.



Grafik: Systematische Einordnung von Methoden zur CO_2-Entnahme und Speicherung (Negativemissionstechnologien) entlang ihrer unterschiedlichen Wirkungsweisen. Auf Englisch werden diese Methoden als «carbon dioxide removal (CDR) methods» bezeichnet. *Quelle: Teil 3 des sechsten Sachstandsberichts (AR 6) des Weltklimarats der Vereinten Nationen (IPCC):* https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/.

4) Macht die CO_2-Entnahme und -Speicherung andere Klimaschutzmassnahmen überflüssig?

Nein. Erste Priorität hat immer das schnelle und drastische Senken von Treibhausgasemissionen. Auf dem Weg zum Ziel von Netto-Null-Emissionen ist die CO_2-Entnahme jedoch unverzichtbar für den Ausgleich schwer vermeidbarer Emissionen. Das genaue Potenzial und die langfristige Nachhaltigkeit sind derzeit noch mit einigen Unsicherheiten behaftet, da die meisten Technologien noch nicht in der nötigen Grössenordnung angewendet werden. Zudem ist es aufwendig und kostspielig, grosse Mengen CO_2 zu entfernen, und der Nachweis der Dauerhaftigkeit der Speicherung ist mit Aufwand und Unsicherheiten verbunden. Eine Verminderung von Emissionen, welche verhindert, dass Treibhausgase in die Atmosphäre gelangen, hat deshalb oberste Priorität. Je grösser und früher die Emissionsminderungen, desto kleiner der Bedarf an der CO_2-Entnahme aus der Atmosphäre.

Einige Emissionen werden sich auf absehbare Zeit kaum oder nur unter sehr hohen Kosten vermeiden lassen. Die CO_2-Entnahme zum Ausgleich solcher schwer vermeidbaren Emissionen ist unverzichtbar auf dem Weg zu Netto-Null. Zu diesen schwer vermeidbaren Restemissionen werden aktuell vom Bund vor allem Emissionen aus der Landwirtschaft, der Beton- und Chemie-Industrie sowie der Kehrichtverbrennung gezählt. Die Frage, welche Emissionen als unvermeidbar gelten, ist schliesslich nicht nur technischer, sondern auch politischer und ökonomischer Natur – und Bedarf gesellschaftlicher Aushandlungen sowie politischer Entscheide.

Für Netto-Null braucht es eine Vielzahl sich ergänzender Ansätze und Bemühungen, und diese möglichst schnell. Angesichts der fatalen Folgen, die jedes weitere Zehntel Grad globalen Temperaturanstiegs mit sich bringt, müssen viele unterschiedliche Klimaschutzmassnahmen und -technologien frühzeitig erprobt und verschiedene Ansätze kombiniert werden.

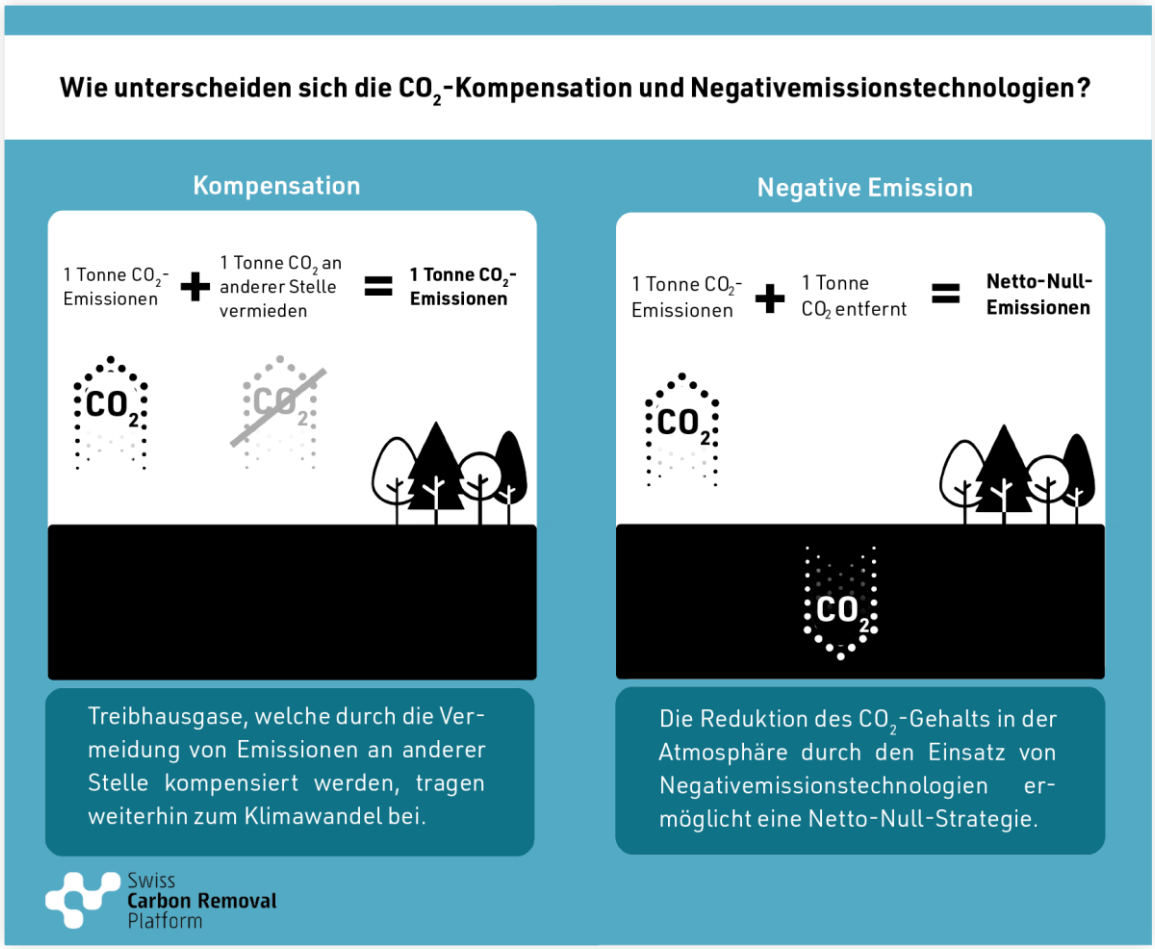
Als weiterführende Quelle zur Rolle von CO_2-Entnahme und -Speicherung im Klimaschutz empfehlen wir den Beitrag Negative Emissionen – «Wir müssen jetzt anfangen!» von SRF News.

5) Wie unterscheidet sich die CO_2-Entnahme aus der Atmosphäre von der CO_2-Kompensation und anderen Klimaschutzmassnahmen?

Bei der CO_2-Kompensation werden Treibhausgasemissionen im gleichen Umfang an anderer Stelle vermieden, die bereits emittierten Treibhausgase bleiben aber in der Atmosphäre. Im Gegensatz dazu entfernen Negativemissionstechnologien (NET) emittiertes CO_2 wieder aus der Atmosphäre. Kompensiert man beispielsweise einen Flug durch das Zahlen einer Kompensation, so verbleibt das durch den Flug ausgestossene CO_2 in der Atmosphäre. Es wird jedoch beispielsweise durch das Errichten von Solaranlagen als Ersatz von Dieselgeneratoren eine entsprechende Menge an Emissionen an anderer Stelle vermieden. Solche Kompensationsmechanismen können eine wichtige Rolle in der verursachergerechten Finanzierung von Klimaschutzprojekten spielen. Jedoch ist das Erreichen von globalen Netto-

Null-Emissionen allein durch Kompensation nicht möglich: CO_2-Kompensationen mindern zwar die globalen Emissionsmengen, reduzieren diese aber nie auf null. Im Gegensatz dazu ermöglicht die Entnahme von CO_2 aus der Atmosphäre mit anschliessender dauerhafter Speicherung eine Absenkung der Emissionen auf null («Netto-Null»). Damit das funktioniert, müssen die Emission und das Entfernen des CO_2 aus der Atmosphäre zeitnah geschehen und eine dauerhafte und sichere Speicherung des entfernten CO_2 ausserhalb der Atmosphäre sichergestellt werden.

Firmen und Privatpersonen können neben Kompensationsprojekten auch sogenannte CO_2-Senken-Projekte unterstützen, welche CO_2-Entnahme und -Speicherung auf verschiedenen Zeitskalen versprechen.

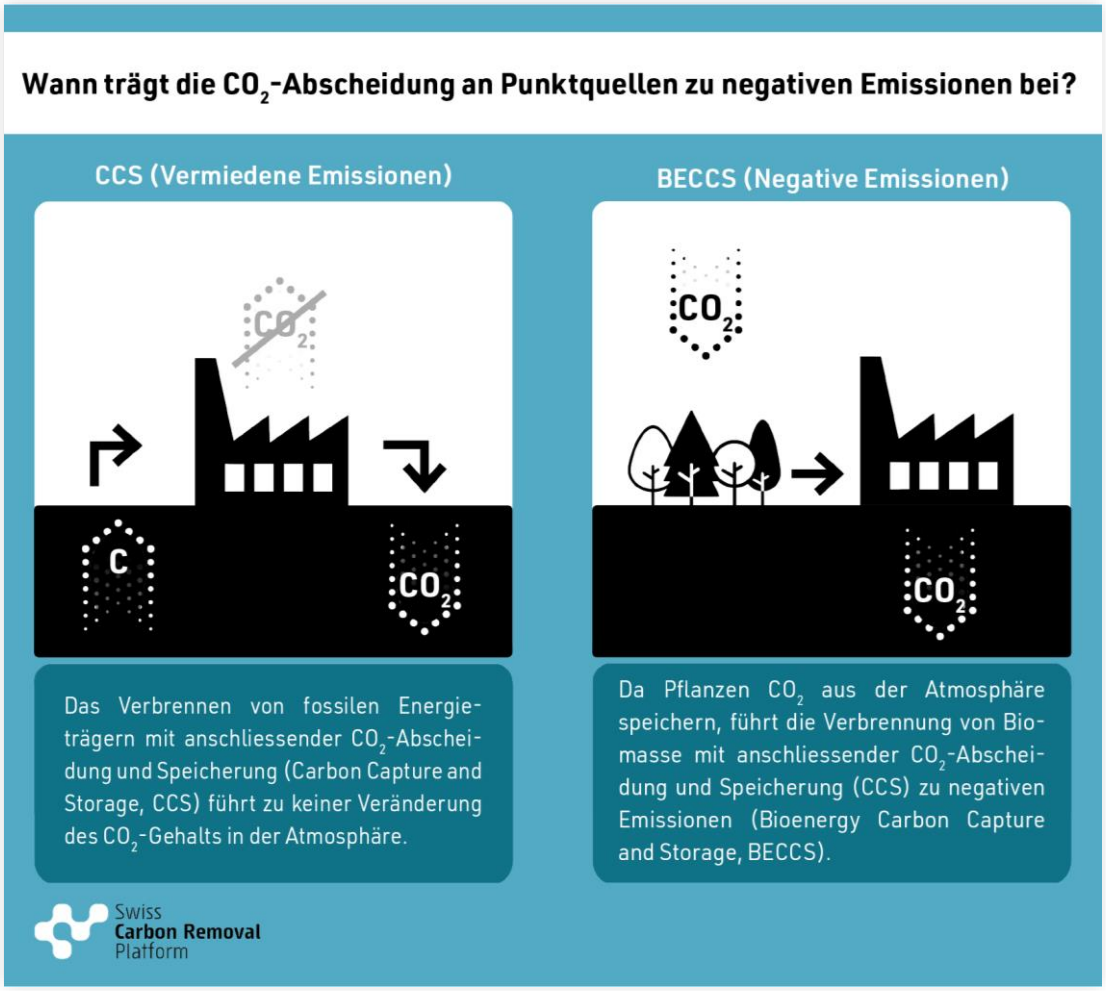


6) Wie unterscheiden sich Negativemissionstechnologien (NET) von Carbon Capture and Storage (CCS) und Carbon Capture and Use (CCU)?

Die Herkunft des CO_2, das gespeichert oder weiterverwendet wird, ist sowohl in der Unterscheidung der Methoden als auch in der Nachvollziehung derer Klimawirkung entscheidend. Negativemissionstechnologien (NET) sind alle Methoden, welche Treibhausgase (primär CO_2) aus der Atmosphäre entnehmen und speichern. Auf Englisch

spricht man von Carbon Dioxide Removal (CDR). Das Verfahren der CO_2-*Abscheidung* und -Speicherung (engl. carbon capture and storage, CCS) bezeichnet dagegen das Einfangen von CO_2 direkt am Verursachungsort (sogenannte Punktquelle), etwa am Kamin von Kraftwerken oder Industrieanlagen, und die anschliessende Speicherung. Diese Emissionen stammen entweder aus chemischen Prozessen, etwa bei der Zementproduktion, oder aus der Energiegewinnung. Der verwendete Brennstoff kann dabei entweder aus fossilen Quellen wie Erdöl, Erdgas oder Kohle stammen – oder aus Biomasse. Je nach Brennstoff kann CCS dazu beitragen, fossile oder prozessbedingte CO_2-Emissionen zu reduzieren (fossiles CCS) oder via Biomasse als Brennstoffe CO_2 aus der Atmosphäre entnehmen und speichern (engl. bioenergy carbon capture and storage, BECCS).

Bei BECCS wird Pflanzenmaterial als Rohstoff für die Energiegewinnung verwendet und die dabei anfallenden CO_2-Emissionen im industriellen Prozess abgeschieden und gespeichert. Da Pflanzen CO_2 aus der Atmosphäre aufnehmen und speichern (Photosynthese), trägt deren Verbrennung mit anschliessender CO_2-Abscheidung und -Speicherung (CCS) zur Reduktion des CO_2-Gehalts in der Atmosphäre bei. BECCS kann beispielsweise bei Biogasanlagen oder Holzheizkraftwerken zum Einsatz kommen.



In der Schweiz wird derzeit die CO_2-Abscheidung an Kehrrichtheizkraftwerken geplant. Etwa die Hälfte des dort verbrannten Kehrichts stammt aus pflanzlichen Quellen (Biomasse) und die andere Hälfte des Kehrichts ist fossilen Ursprungs (z.B. Plastik). Eine CCS-Anlage bei einer Kehrrichtverbrennungsanalage kann also zur Hälfte negative Emissionen erzeugen (BECCS durch Biomasseanteil) und zur Hälfte schwer vermeidbare Emissionen vermindern (fossiles CCS).

Bei der CO_2-Entnahme und -Nutzung (engl. carbon capture and utilisation, CCU) wird das an der Quelle abgeschiedene CO_2 in Produkten genutzt oder direkt weiterverwendet, etwa als Kohlensäure in Getränken oder zur Produktion von synthetischen Treibstoffen. Wird der Kohlenstoff dabei langfristig ausserhalb der Atmosphäre gespeichert, so zum Beispiel in langlebigen Baumaterialien wie Recycling-Beton oder Holz, spricht man von CCU mit Speicherung (CCUS).

Ein Beispiel für CCUS ist die Verwendung und Speicherung von abgeschiedenem CO_2 in Abbruchbeton. Diese Methode wurde im Forschungs- und Demonstrationsprojekt DemoUpCARMA (2021-2023) erprobt und ist teilweise schon operationalisiert und in die Wertschöpfungskette eingegliedert. Auch hier spielt die Herkunft des CO_2 eine wichtige Rolle für die Wirkung fürs Klima: Stammt das CO_2 aus fossilen oder prozessbedingten Quellen, so führt CCU zu verzögerten und CCUS zu vermiedenen Emissionen. Stammt das CO_2 jedoch aus dem Verbrennen von Biomasse, so kann CCU zur «klimaneutralen» Produktion beitragen, CCUS sogar ebenso wie BECCS zur Erzeugung von negativen Emissionen. Mehr Fragen zu CCS und CCUS beantwortet das FAQ von DemoUpCARMA.

7) Welche Gefahren, Risiken und Unsicherheiten birgt die CO_2-Entnahme und -Speicherung?

Die derzeit diskutierten Methoden zur CO_2-Entnahme und -Speicherung können grundsätzlich sicher betrieben werden, wenn grundlegende Standards definiert und eingehalten werden. Der Ausbau in grossem Massstab bringt Herausforderungen mit sich, da der Aufbau von neuen Technologien immer mit Unsicherheiten und möglichen Zielkonflikten einhergeht. Die Nachhaltigkeit und Sicherheit sind ein zentrales Anliegen bei solchen Vorhaben, weshalb entsprechende Vorsichtsmassnahmen vorab diskutiert und festgelegt werden müssen.

In einer Studie der TA Swiss aus dem Jahr 2023 werden die Chancen und Risiken von fünf Methoden zur Entnahme und Speicherung von CO2 aus der Atmosphäre ausführlich behandelt und Empfehlungen aufgrund der Analyse des Wissensstandes und einer systematischen Befragung von Fachleuten in der Schweiz formuliert.

Bei der CO_2-Entnahme und -Speicherung betreffen solche Vorkehrungen beispielsweise die Handhabung, den Transport und die Speicherung vom entfernten CO_2. CO_2 ist ein Gas, das zwar ungiftig ist, womit aber zum Schutz von Menschen und Umwelt vorsichtig umgegangen werden muss. Deshalb sind auch bei der CO_2-Entnahme und -Speicherung erprobte

Sicherheitsstandards für die industrielle Handhabung von Gasen einzuhalten. Bei der Forschung und dem Erproben neuer Techniken ist ein zentrales Augenmerk auf Sicherheitsaspekte zu legen – etwa bei der Standortsuche für eine mögliche geologische Speicherung von CO_2 im Untergrund. Darüber hinaus müssen mögliche Langzeitfolgen berücksichtigt werden, wie etwa im Beispiel von Pflanzenkohle die langfristigen Auswirkungen auf den Lebensraum Boden. Wissenschaftlich begleitete Pilotprojekte mit einem entsprechenden Monitoring spielen hier eine wichtige Rolle.

Die CO_2-Entnahme und -Speicherung in kleinem Massstab und mit den entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen gilt als unbedenklich. Damit sie einen substanziellen Beitrag zum Klimaschutz leisten kann, muss sie allerdings in grossen Mengen zum Einsatz kommen, wodurch auch ihr Ressourcenbedarf wächst. Die Herausforderungen unterscheiden sich dabei zwischen den einzelnen Ansätzen, da sie von unterschiedlichen Ressourcen abhängen, wobei einige der Methoden viel Energie benötigen. Der erhöhte Bedarf gewisser Negativemissionstechnologien (NET) an Wald- oder Landwirtschaftsflächen sowie Pflanzenmaterial wie Holz stellt eine weitere Herausforderung dar. Dies wirft Machbarkeits- und Nachhaltigkeitsfragen auf, welche bei jedem Schritt des Aufbaus der CO_2-Entnahme und -Speicherung berücksichtigt und systemisch evaluiert werden müssen.

Weiterhin benötigen einige CDR-Methoden langfristige Infrastrukturinvestitionen, etwa für die Abscheidung, den Transport und die Speicherung von Millionen von Tonnen CO_2. Angesichts der genannten Unsicherheiten müssen die verschiedenen Methoden bereits heute erprobt und die Weichen gestellt werden, wenn sie bis 2050 einen bedeutenden Beitrag zum Erreichen der Klimaziele leisten sollen. Angesichts der hohen finanziellen Kosten der CO_2-Entnahme und -Speicherung ist es wichtig, deren langfristigen Beitrag zum Klimaschutz sicherzustellen. Dabei muss die gesamte Wertschöpfungskette betrachtet werden, damit durch den Vorgang im unter dem Strich nicht mehr Emissionen anfallen als entfernt werden. Einige Ansätze befinden sich noch in einem experimentellen Stadium und Langzeitstudien bezüglich der Dauerhaftigkeit der Speicherung des CO_2 ausserhalb der Atmosphäre stehen für die meisten Technologien noch aus (siehe Frage 13: Wie lange muss die Speicherung garantiert werden?). Angesichts dieser Unsicherheiten müssen die verschiedenen Methoden bereits heute erprobt und die Weichen gestellt werden, wenn sie bis 2050 einen Beitrag zum Erreichen der Klimaziele leisten sollen. Zertifizierungen und neue Gesetze müssen sicherstellen, dass nur ausreichend sichere und dauerhafte Ansätze zum Einsatz kommen und jede aus der Atmosphäre entfernte Tonne CO_2 korrekt angerechnet wird.

Um die gesellschaftliche Akzeptanz und die ethische Integrität der CO_2-Entnahme zu gewährleisten, bedarf es einer verursachergerechten Finanzierung und der sozialen Verteilung von Kosten, Risiken und Profiten (siehe Frage 16: Wie kann die CO_2-Entnahme und -Speicherung verursachergerecht finanziert werden?). Dazu sind faire und transparente Rahmenbedingungen unabdingbar. Zentral ist dabei die öffentliche Auseinandersetzung mit der Rolle der verschiedenen Ansätze für den Schweizer und weltweiten Klimaschutz. Dazu gehört etwa die Frage, welche Emissionen als schwer vermeidbar gelten, aber auch Fragen der internationalen Verantwortung und globalen Klimagerechtigkeit.

Mehr zu den ethischen Herausforderungen, die es beim Ausbau der CO_2-Entnahme und -Speicherung zu berücksichtigen gilt, finden Sie in unserem Blog.

8) Was ist das Potenzial für die CO_2-Entnahme und -Speicherung in der Schweiz?

Das Potenzial für das Entfernen und dauerhafte Speichern von CO_2 in der Schweiz wird aktuell auf einige Millionen Tonnen CO_2 pro Jahr geschätzt, das nachhaltig realisierbare Potenzial aufgrund von ökonomischen, ökologischen und sozialen Faktoren könnte aber deutlich kleiner sein (vgl. Postulatsbericht des Bundesrates, 2.9.2020). Die Faktenblätter der TA Swiss von 2023 bieten Schätzungen des Potenzials von fünf Methoden zur Entnahme und Speicherung von CO2 – sowie einen Überblick über Kosten, Chancen und Risiken.

Limitierende Faktoren sind beispielsweise die zur Verfügung stehende Landfläche (für Aufforstung) und die Verfügbarkeit von pflanzlicher Biomasse für gewisse Methoden wie Bioenergie mit CO_2-Entnahme und -Speicherung (engl. bioenergy carbon capture and storage, BECCS) und die Produktion von Pflanzenkohle. Bei BECCS und der maschinellen CO_2-Luft-Filterung und -Speicherung (engl. direct air carbon capture and storage, DACCS) ist neben dem Energiebedarf der Verfahren auch die zur Verfügung stehenden Speicherkapazitäten im Untergrund für das gewonnene CO_2 möglicherweise ein limitierender Faktor. Für weitere Ansätze, etwa mehr CO_2 in landwirtschaftlichen Böden zu speichern, sowie die beschleunigte Verwitterung von Gesteinsmehl oder Recyclingbeton sind noch nicht genügend Daten vorhanden für eine realistische Abschätzung von Potenzial und limitierenden Faktoren.

Zum Vergleich: Die gesamten inländischen Treibhausgasemissionen der Schweiz betrugen im Jahr 2020 rund 43 Mio. Tonnen CO_2-Äquivalent. Bis 2050 rechnet das Bundesamt für Umwelt (BAFU) mit einer Emissionsminderung um über 80%. Die verbleibenden rund 7 Mio. Tonnen Restemissionen sollen mittels CO_2-Entnahme und -Speicherung im In- und Ausland ausgeglichen werden. Detaillierte Potential- und Kostenabschätzungen für die Schweiz bieten einerseits eine Studie der TA Swiss von 2023 und andererseits eine Studie der ETH Zürich im Auftrag des BAFU von 2022.

9) Welche Rolle spielt die CO_2-Entnahme und -Speicherung für die Schweizer Klimaziele?

Die CO_2-Entnahme und -Speicherung spielt in den aktuellen Klimamodellen und -szenarien eine zentrale Rolle für das Einhalten der 1,5-Grad-Grenze des Paris Abkommens – und auch für das Schweizer Netto-Null-Ziel bis 2050. Gemäss der Schweizer Klimastrategie 2050 und den Energieperspektiven 2050+, sollen die in der Schweiz anfallenden Treibhausgas-Emissionen soweit wie möglich reduziert werden. Schwer vermeidbare Emissionen sollen künftig mit der CO_2-Entnahme und -Speicherung ausgeglichen werden, um das Ziel der Netto-Null-Treibhausgasemissionen bis 2050 zu erreichen. Der Bund möchte die Kapazitäten bis 2050 so weit aufbauen, dass jährlich 7 Mio. Tonnen CO_2 im In- und Ausland aus der Atmosphäre entfernt und sicher gelagert werden können. Diese 7 Mio. Tonnen entsprechen etwa 16% der aktuellen inländischen Treibhausgasemissionen. Dabei soll in der Schweiz insbesondere CO_2

aus der Abwasserreinigung, der Biogasproduktion und aus der Verbrennung von pflanzlichen Materialien in Kehrrichtheizkraftwerken direkt an der Quelle eingefangen und zu geeigneten Speicherstätten transportiert werden. Diese Ansätze fallen unter die Kategorie Bioenergie mit CO_2-Entnahme und -Speicherung (engl. bioenergy carbon capture and storage, BECCS).

Weitere negative Emissionen sollen beispielsweise durch CO_2-Luft-Filterung und -Speicherung (engl. direct air carbon capture and storage, DACCS) im Ausland erreicht werden. Zusätzlich zur Entfernung von CO_2 aus der Atmosphäre sollen 5 Mio. Tonnen CO_2-Emissionen durch fossiles CCS vermieden werden (zu CCS vgl. Frage 6. Einen Überblick über den geplanten Einsatz der verschiedenen Ansätzen in der Schweiz bieten das Dossier zu negativen CO_2-Emissionen des BAFU-Magazins «die umwelt» 2022|2, S. 9, sowie die Roadmap des Bundes zu CO_2-Abscheidung und -Speicherung (CCS) und Negativemissionstechnologien (NET).

Zusätzlich zu den inländischen Emissionen stellen sich auch Fragen nach der Reduktion oder auch des Ausgleichs der Klimawirkung des Flugverkehrs, sowie des CO_2-Fussabdrucks des Schweizer Konsums von importierten Waren und Schweizer Investitionen, welche im Ausland Emissionen verursachen. Mehr Details dazu finden sich beispielswiese in der langfristigen Klimastrategie der Schweiz (Kapitel 8.5) und im Klima-Masterplan der Klimaallianz Schweiz.

Das vom Schweizer Volk am 18. Juni 2023 angenommene Klima- und Innovationsgesetz KIG gibt einen rechtlichen Rahmen für das Erreichen von Netto-Null Treibhausgasemissionen in Inland vor: Die wichtigste Priorität ist es, die Emissionen so schnell wie möglich so weit wie möglich zu reduzieren. Die Enfternung von CO2 aus der Atmosphäre (CDR) soll ergänzend bis 2050 die schwer vermeidbaren Restemissionen ausgleichen. Mehr Informationen zum KIG finden sich in der Antwort auf Frage 17 weiter unten.

Für das Einhalten der 1,5-Grad-Grenze braucht es nicht nur das Erreichen von Netto-Null Treibhausgasemissionen, sondern in der zweiten Jahrhunderthälfte sogar global netto negative Emissionen. Es muss also mehr CO_2 der Atmosphäre entnommen als emittiert wird. Auch dies ist im KIG (Artikel 3.2) bereits angelegt: «Nach dem Jahr 2050 muss die durch die Anwendung von Negativemissionstechnologien entfernte und gespeicherte Menge an CO2 die verbleibenden Treibhausgasemissionen übertreffen.» Bei derart langfristigen Plänen ist es jedoch wichtig, die Erwartungen an die Methoden angesichts des begrenzten nachhaltig realisierbaren Potenzials nicht zu hoch anzusetzen – und die Notwendigkeit von drastischen Reduktionsmassnahmen nicht aus den Augen zu verlieren.

10) Kommen in der Schweiz bereits Methoden zur CO_2-Entnahme und -Speicherung zum Einsatz?

Verschiedene Ansätze, CO_2 zu entfernen und dauerhaft zu speichern kommen in der Schweiz bereits in begrenzten Mengen zum Einsatz – das Potenzial ist jedoch noch lange nicht ausgeschöpft. Die Schweizer Wälder und Böden binden schon lange grosse Mengen an CO_2 – emittieren je nach Bedingungen aber auch CO_2, Methan und Lachgas. Sie stellen also Quellen

und Senken von Treibhausgasen dar. Das CO_2-Reduktionspotenzial (Senkenleistung) durch Wald und Böden kann nach aktuellem Wissenstand durch eine langfristige, nachhaltige Bewirtschaftung auch in Zukunft erhalten oder sogar noch erhöht werden (siehe Thürig, Esther in «ZürcherWald 2022|8», S. 28-32). Die Erhöhung der Senkenleistung von Wäldern und Böden durch menschliches Eingreifen kann als Methode zur CO_2-Entnahme betrachtet werden, wenn die CO_2-Speicherung dauerhaft ist. Kohlenstoff, welcher in Wäldern oder Böden gespeichert ist, ist immer der Gefahr ausgesetzt, durch Landnutzungsänderungen und den Klimawandel (Dürre, Waldbrand) wieder in die Atmosphäre zu gelangen. Deshalb spielt hier eine langfristig nachhaltige Bewirtschaftung eine grosse Rolle. Bereits heute wird Holz auch für langlebige Produkte und für die Produktion kohlenstoffreicher Pflanzenkohle genutzt, welche wiederum in der Landwirtschaft, im Gartenbau und sogar in Baumaterialien zum Einsatz kommt. Dies alles sind Möglichkeiten, um den Kohlenstoff der Bäume langfristig ausserhalb der Atmosphäre zu halten. Durch das Verbrennen von Holzprodukten und Pflanzenabfällen zur Energiegewinnung mit CO_2-Abscheidung (engl. bioenergy carbon capture and storage, BECCS) oder durch spezifische Verbrennungstechniken (Pyrolyse zur Erzeugung von Pflanzenkohle) könnten Holzprodukte und Pflanzenabfälle zukünftig auch am Ende ihres Lebenszyklus energetisch genutzt werden, ohne dass das CO_2 wieder in die Atmosphäre entweicht.

Im Bereich Wald, Boden und Pflanzenkohle wird neben laufenden Anwendungen aktuell durch Langzeitstudien das langfristige Potenzial dieser Ansätze zur CO_2-Entnahme erforscht. Des Weiteren gibt es neben Pilotprojekten bereits erste operative Anlagen für Direct Air Capture, zur Abscheidung von CO_2 aus Biogas-Emissionen und der Abwasserreinigung, und zur Speicherung von CO_2 in Abbruchbeton. Die Abscheidung von CO_2 aus dem Abgas von Kehrichtverbrennungsanlagen und Zementwerken könnten den nächsten grosse Schritt darstellen (Stand 2023). Bei diesen Ansätzen fehlen aktuell jedoch in der Schweiz noch Speicherkapazitäten für das gewonnene CO_2, da das Potenzial von Recycling-Beton begrenzt ist und noch keine inländischen Speicherstätten im Untergrund zur Verfügung stehen. Das Potenzial für die geologische Speicherung von CO_2 in der Schweiz soll geprüft werden (siehe Frage 12 und Frage 13).

Mehr Informationen und Beispiele zur CO_2-Entnahme und -Speicherung in der Schweiz finden Sie in unserer Infobroschüre, sowie auf der Webseite des BAFU sowie im Dossier zu negativen CO_2-Emissionen des BAFU-Magazins «die umwelt» 2022|2. Zum Thema Pflanzenkohle veröffentlichten das Bundesamt für Umwelt BAFU und das Bundesamt für Landwirtschaft BLW sowie der Cercle Sol der Kantone im Januar 2023 zudem das Faktenblatt «Pflanzenkohle in der Schweizer Landwirtschaft – Risiken und Chancen für Boden und Klima».

11) Wie wird CO_2 transportiert und gespeichert?

CO_2 kann in Containern und Pipelines transportiert werden. Die Speicherung erfolgt entweder im Untergrund oder in langlebigen, kohlenstoffreichen Produkten und Baumaterialien. Zudem kann Kohlenstoff in Wäldern und Böden zumindest zeitweise gebunden werden. Aus der Luft entnommenes CO_2 kann in geeigneten Gesteinsschichten

geologisch gespeichert werden. In Frage kommen etwa unterirdische Basaltschichten, in die in Wasser gelöstes CO_2 gepumpt wird, woraus dann Kalkstein entsteht. Andere mögliche geologische Lagerstätten sind beispielsweise entleerte Erdgasreservoirs oder tiefe salzwasserführende Gesteinsschichten (sogenannte saline Aquifere). In der Schweiz kommen für die CO_2-Speicherung derzeit nur saline Aquifere in Betracht.

Liegen die CO_2-Quelle und die Speicherstätte weit voneinander entfernt, muss das CO_2 über viele Kilometer transportiert werden. Dafür wird CO_2 verflüssigt und in Containern auf LKW, Zug und Schiff befördert. Solche Transporte finden bereits heute in kleineren Mengen etwa für die Chemie- und Lebensmittelindustrie statt. Um grosse Mengen an CO_2 kosteneffizient zu transportieren und den CO_2-Ausstoss des Transportes klein zu halten, sind längerfristig wohl CO_2-Pipelines und -Tankschiffe nötig. Sie könnten beispielsweise CO_2 aus Kehrrichtheizkraftwerken, Biogasanlagen, Zementwerken oder Abwasserreinigungsanlagen in der Schweiz zu geologischen Speicherstätten im Ausland transportieren (z.B. nach Island oder in der Nordsee). Die Nutzung und permanente Speicherung von CO_2 in neuem und recycliertem Beton sowie der CO_2-Transport ins Ausland und die dortige permanente Speicherung in einem geologischen Reservoir wurden im Rahmen des Forschungs- und Demonstrationsprojekts DemoUpCARMA erfolgreich erprobt. Mehr Informationen bietet das FAQ von DemoUpCARMA.

Andere Methoden setzen auf die dauerhafte Speicherung von Kohlenstoff in Wäldern und landwirtschaftlichen Flächen, was über ein entsprechendes Bodenmanagement sowie das Einbringen von Pflanzenkohle erreicht werden kann. Bei der beschleunigten Verwitterung, etwa von Gesteinsmehl, reagiert CO_2 wiederum chemisch mit dem Gestein und wird so gelöst.

12) Wird CO_2 in der Schweiz geologisch gespeichert?

Aktuell wird noch kein CO_2 im Schweizer Untergrund gespeichert. Es gibt Bemühungen der Forschung, das Speicherpotenzial für CO_2 in der Schweiz abzuschätzen. Gemäss Schätzungen des Bundesamts für Energie (BFE) könnten geologische CO_2-Speicherstätten in der Schweiz frühestens in 15-20 Jahren bereit sein (Stand 2022). Erste Pilotversuche könnten schon vorher stattfinden. In den Energieperspektiven 2050+ des Bundes wird eine mögliche geologische Speicherung ab 2040 angenommen, welche bis 2050 auf bis zu 3 Mio. Tonnen CO_2 pro Jahr ausgebaut werden könnte. Dies ist allerdings nur ein Szenario, denn der Schweizer Untergrund ist noch zu wenig erforscht, um genauere Aussagen dazu zu treffen. Aus geologischer Sicht könnten sich u.a. Teile des Molassebeckens zwischen Olten und Schaffhausen sowie die Region Yverdon-Morges-Nyon für die CO_2-Speicherung eignen. Ein nationales Erkundungsprogramm für geologische CO_2-Speicher wurde mit der Motion 20.4063 im Jahr 2021 vom Parlament angenommen. Ein erster Bericht soll bis 2023 vorliegen. Aufgrund bisher fehlender und möglicherweise beschränkter Speicherkapazitäten in der Schweiz wird auch der Transport von in der Schweiz abgeschiedenem CO_2 zu Speicherstätten im Ausland, sowie der Einsatz von maschineller Luftfiltrierung zur CO_2-Entnahme und -Speicherung (engl. direct air carbon capture and storage, DACCS) im Ausland untersucht (vgl. «die umwelt» 2022|2, S. 14 und 21).

13) Wie lange muss die CO_2-Speicherung garantiert werden?

Wenn gespeichertes CO_2 wieder in die Atmosphäre gelangt, trägt das CO_2 ab diesem Zeitpunkt wieder zur Erderhitzung bei, so als wenn es nie aus der Atmosphäre entfernt worden wäre. Deshalb ist die Dauerhaftigkeit der CO_2-Speicherung zentral für den langfristigen Beitrag zum Klimaschutz. Hier bestehen grosse Unsicherheiten und Unterschiede zwischen den verschiedenen Ansätzen, je nachdem in welcher Form der Kohlenstoff gespeichert wird. Biomasse wie Bäume, Holz oder Kohle kann verbrennen oder biologisch abgebaut werden, aus einem Leck in einer Lagerstätte kann CO_2 entweichen. Ob die Dauerhaftigkeit 100, 1000 oder mehr Jahre sichergestellt werden muss, um von negativen Emissionen zu sprechen, ist umstritten und abhängig von der vorgesehenen Rolle der Methode in der jeweiligen langfristigen Klimastrategie. Theoretisch könnten auch kurzfristige Speicher als Übergangslösung zur Abbremsung der Erderhitzung in den kommenden Jahrzehnten Sinn machen, wenn sie später durch langfristige Speicherungen abgelöst werden. Allerdings birgt eine solche Logik, bei der die Verantwortung auf zukünftige Generationen abgewälzt wird, beachtliche moralische und politische Risiken.

Die Dauerhaftigkeit einzelner Ansätze ist bereits gut erwiesen. Wenn etwa der Kohlenstoff als Kalkstein im Untergrund gespeichert wird, bleibt die CO_2-Entnahme über mehr als 1000 Jahre bestehen (IPCC, 2022). Bei anderen Methoden ist die Dauerhaftigkeit der CO_2-Speicherung über mehrere Jahrzehnte oder Jahrhunderte noch nicht belegt: Einerseits fehlen Langzeitstudien (etwa für Pflanzenkohle), andererseits hängt die Dauerhaftigkeit teils auch von Umweltbedingungen ab, etwa bei der Speicherung von CO_2 in Wäldern und in langlebigen Produkten wie Baumaterial. Bei der Zertifizierung von Wäldern als Kohlenstoffsenken wird beispielsweise im «Forest Protocol» vom Climate Action Reserve eine Dauerhaftigkeit von 100 Jahren vorausgesetzt. Angesichts gegebener Unsicherheiten ist die Überwachung von Speicherstätten und die Nachverfolgbarkeit von Produkten von grosser Relevanz. Damit wäre auch eine Versicherung gegen das Entweichen von CO_2 denkbar – dies ist jedoch als Geschäftsmodell für Versicherungen mit grossen Unsicherheiten behaftet.

14) Wieso pflanzen wir nicht einfach mehr Bäume?

Wälder spielen eine wichtige Rolle – nicht nur für den Klimaschutz. Allein können sie das Klima jedoch nicht retten. Zudem sind sie selbst durch die Erderwärmung bedroht. Grundsätzlich speichern alle Pflanzen beim Wachsen durch Photosynthese CO_2 aus der Atmosphäre. Dies machen sich auf Biomasse basierte Ansätze zur CO_2-Entnahme zu Nutze. Der offensichtlichste Ansatz besteht im Pflanzen von Bäumen. Es gibt jedoch auch einige Tücken bei dieser Strategie. Bäume wachsen langsam und setzen das gespeicherte CO_2 wieder frei, sobald das Holz natürlich zersetzt oder verbrannt wird. Der Klimawandel gefährdet durch Hitze, Trockenheit und Waldbrandgefahr zudem Aufforstungsprojekte. Vorhandene Waldbestände weltweit und in der Schweiz sind bereits bedroht, so dass allein der Erhalt bestehender Senken eine Herausforderung darstellen. Umso wichtiger ist es jedoch, bestehende Ökosysteme zu erhalten und Nutzwälder nachhaltig zu bewirtschaften. Die momentan geschätzte Speicherleistung der Schweizer Wälder beträgt 2,5 Mio. Tonnen CO_2 pro

Jahr («die umwelt» 2022 | 2, S. 36) – mit wenig Potential für eine grössere Speicherleistung, da nicht viel mehr Fläche zur Verfügung steht und bestehende Wälder bereits ein Vielfaches mehr CO_2 speichern als aufgeforstete Waldflächen. Eine gewisse Erhöhung der Senkenleistung des Schweizer Holzsektors kann jedoch durch optimiertes Waldmanagement und die Nutzung von Holz in langlebigen Produkten und Gebäuden, sowie für die Produktion von Pflanzenkohle und Energie erreicht werden. Mehr Informationen bietet der Artikel «Wie der Schweizer Wald dem Klimawandel entgegenwirken kann» von Esther Thürig aus dem Jahr 2022.

15) Wieviel kostet die CO_2-Entnahme und -Speicherung heute und in Zukunft?

Viele der heute besprochenen Methoden zur CO_2-Entnahme und -Speicherung sind derzeit noch recht teuer; Skaleneffekte und Innovation könnten die Kosten jedoch in Zukunft senken. Detaillierte Potential- und Kostenabschätzungen für die Schweiz bieten einerseits eine Studie der TA Swiss von 2023 und andererseits eine Studie der ETH Zürich im Auftrag des BAFU von 2022. Manche Ansätze können theoretisch kostengünstig durchgeführt werden. In diesem Preis ist jedoch die Sicherstellung einer dauerhaften Speicherung meist nicht inbegriffen. Bäume müssen beispielsweise nach dem Pflanzen überwacht, geschützt und gepflegt werden, um eine langfristige Speicherung des Kohlenstoffs sicherzustellen. Kostenschätzungen, welche eine grössere Dauerhaftigkeit versprechen, bewegen sich zwischen ca. 200 bis über 1'000 CHF pro Tonne entnommenem CO_2. Am günstigeren Ende des Spektrums sind Technologien wie Pflanzenkohle, Boden- und Waldbewirtschaftung und beschleunigte Verwitterung von Gestein und Recycling-Beton. Teurer sind Technologien wie die maschinelle CO_2-Filterung aus der Atmosphäre in Kombination mit geologischer Speicherung. Das Entfernen von CO_2 aus der Atmosphäre in absehbarer Zukunft ist äusserst kostenintensiv, auch im Vergleich zu anderen Klimaschutzmassnahmen, wie aus dem Sachstandbericht des IPCC vom April 2022 hervorgeht. Häufig ist also die Vermeidung von Emissionen günstiger als das Entfernen von CO_2 aus der Atmosphäre. Deshalb sollte die CO_2-Entnahme und -Speicherung vor allem für den Ausgleich schwer vermeidbarer Emissionen genutzt werden. Zudem sind Bemühungen vielversprechend, negative Emissionen günstiger zu gestalten oder in Wertschöpfungsketten zu integrieren. Beispiele dafür sind die Abscheidung von CO_2 aus Kehrichtheizkraftwerken, Klärwerken und Biogasanlagen, die Verwendung von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft oder die Verwitterung von Recycling-Beton.

16) Wie kann die CO_2-Entnahme und -Speicherung verursachergerecht finanziert werden?

Eine verursachergerechte Finanzierung der CO_2-Entnahme und -Speicherung bedeutet, dass die Kosten direkt oder indirekt von den Akteuren getragen werden, welche für die auszugleichenden Treibhausgasemissionen verantwortlich sind. Dafür sind verschiedene Mechanismen denkbar, beispielsweise eine direkte staatliche Finanzierung über eine CO_2-Abgabe, eine gesetzliche Pflicht zum Ausgleich von Emissionen durch die CO_2-Entnahme, oder auch freiwillige Ausgleichszahlungen vergleichbar zu CO_2-Kompensationen.

In der Schweiz spielen derzeit verschiedene Mechanismen eine Rolle, wenn auch bisher nur in kleinem Rahmen. Einerseits werden Pilotanlagen zur CO_2-Entnahme staatlich gefördert und seit 2022 können neu auch CO_2-Senkenleistungen sowie Speicherprojekte für fossiles oder prozessbedingtes CO_2 (fossiles CCS) im Rahmen ihrer CO_2-Kompensationspflicht der Treibstoffimporteure angerechnet werden, was die Finanzierung von CO_2-Entnahme und -Speicherung steigern kann (mehr zu den Kompensationsinstrumenten). Andererseits gibt es auf dem freiwilligen Markt die Möglichkeit, sogenannte CO_2-Senken-Projekte zu unterstützen, welche CO_2-Entnahme und -Speicherung auf verschiedenen Zeitskalen versprechen.

Weltweit setzen aktuell internationale Unternehmen wichtige Impulse in der Form von Investitionen und Kaufankündigungen für die CO_2-Entnahme und -Speicherung in Milliardenhöhe, die als Anschubfinanzierung dienen sollen, um den Markt anzukurbeln, beispielsweise die Initiativen NextGen und der Frontier Fund. Welche Finanzierungsmodelle in der Schweiz mittel- und langfristig eine Rolle spielen werden, ist derzeit noch nicht geklärt (Stand Juli 2022).

17) Was sagen die Gesetze und Verordnungen zur CO_2-Entnahme und -Speicherung in der Schweiz?

Die CO_2-Entnahme und -Speicherung ist ein sehr aktuelles Thema in der Schweizer Politik, die Gesetzgebung dazu steht jedoch noch am Anfang. Das CO_2-Gesetz und die dazugehörige Verordnung werden laufend überarbeitet. Es gibt mehrere laufende parlamentarische Motionen und Vorstösse zur CO_2-Entnahme. In den aktuell geltenden Gesetzestexten ist die CO_2-Entnahme und -Speicherung noch nicht umfassend geregelt, erste Regelungen finden sich in der im Mai 2022 revidierten CO_2-Verordnung. Mit der Verlängerung der Massnahmen des CO_2-Gesetzes gelten auch Senkenleistungen im In- und Ausland als Kompensationsmassnahmen (Stand Juli 2022).Geplante Änderungen auf Gesetzes- und Verordnungsebene, sowie angestrebte Massnahmen für die nächsten Jahre finden sich in der Roadmap des Bundes zu CO_2-Abscheidung und -Speicherung (CCS) und Negativemissionstechnologien (NET).

Das Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit (KIG), welches im Juni 2023 vom Schweizer Stimmvolk angenommen wurde, sieht eine klimaneutrale Schweiz bis 2050 vor. Dafür sollen die Treibhausgasemissionen so weit wie möglich vermindert werden. Die Wirkung der verbleibenden Treibhausgasemissionen soll durch CO_2-Entnahme und -Speicherung in der Schweiz und im Ausland ausgeglichen werden. Die genaue Ausgestaltung steht noch aus (Stand Juli 2023).

Das KIG ist wichtig für den Bereich der CO_2-Entnahme. Es gibt (1) Ziele vor, (2) schafft Nachfrage und (3) fördert die Innovation in der CO_2-Entnahme. (1) CDR soll die nach der Emissionsreduktion verbleibenden Emissionen ausgleichen und es ist vorgesehen, dass die Schweiz nach 2050 gar Netto-*Negativ* ist. Der Bundesrat kann dazu Richtwerte für die Anwendung von CDR festlegen. (2) Das KIG schafft eine Nachfrage für Carbon Dioxide Removal indem alle Unternehmen spätestens 2050 Netto-Null-Emissionen aufweisen müssen. Die

öffentliche Verwaltung übernimmt eine Vorbildfunktion, da Bund sowie Kantone Netto-Null bereits 2040 erreicht haben müssen. (3) Zudem fördert der Bund bis 2030 neuartige Technologien und Prozesse mit 1.2 Milliarden CHF. Zudem sichert er Risiken und Investitionen in öffentliche Infrastrukturen, bspw. CO_2-Speicher und Pipelines, ab. Wichtig ist jedoch, dass das KIG ein «Rahmengesetz» ist und wenige Massnamen enthält. Diese sollen mit Revisionen des CO_2-Gesetzes eingeführt werden. Das Klima- und Innovationsgesetz und die dazugehörige Verordnung treten am 1. Januar 2025 in Kraft.

Auf unserem Blog finden sie eine Einschätzung zur Bedeutung des Klimaschutzgesetz (KIG) für die CO_2-Entnahme und -Speicherung sowie eine Zusammenfassung der CCS- & NET-Roadmap des Bundes. Mehr Details zum KIG finden Sie auch auf der Seite des Bundesamts für Umwelt BAFU.

18) Was ist mit den anderen Treibhausgasen wie Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O)?

Die derzeit in der Schweiz diskutierten und erprobten Ansätze zielen alle auf das Entfernen von CO_2 ab. Vom Menschen bereits emittiertes Methan trägt gemäss IPCC weltweit etwa 0,5°C zur globalen Erwärmung bei. Dieses Methan stammt hauptsächlich aus der Landwirtschaft, Mülldeponien und der Förderung fossiler Brennstoffe.

Die Emissionsreduktion von Treibhausgasen wie Methan und Lachgas ist deshalb ein wichtiges und kurzfristig hochwirksames Mittel für die Einhaltung von Temperaturzielen. Mehr zu kurzlebigen Treibhausgasen wie Methan und dem Begriff der CO_2-Äquivalente finden sie im Bericht «Klimawirkung und CO_2-Äquivalent-Emissionen von kurzlebigen Substanzen» (ProClim, 2022).

Auch das Entfernen von Methan und Lachgas aus der Atmosphäre könnte zukünftig zum Klimaschutz beitragen. Entsprechende Technologien werden derzeit erforscht, befinden sich jedoch noch in einer frühen Entwicklungsphase. Einen Überblick über Methoden zur Methan-Entfernung und -Vermeidung mit ersten Kostenschätzungen bietet eine wissenschaftliche Publikation mit dem Titel «Perspectives on removal of atmospheric methane» (Ming et al., 2022).

Glossar

Atmosphäre: Die Atmosphäre ist eine Lufthülle aus CO_2 und anderen Gasen rund um die Erdkugel. Aufgrund ihrer Zusammensetzung reguliert die Atmosphäre die Temperatur an der Erdoberfläche, indem sie einerseits einen Teil der Sonnenstrahlen zurück ins All reflektiert (z.B. durch Wolken) und andererseits einen Teil der Wärmestrahlung der Erde abfängt und damit davon abhält, ins All zu entweichen (Treibhauseffekt).

Atmosphärische CO_2-Konzentration: Menschengemachte Emissionen, wie zum Beispiel Abgase einer Fabrik oder eines Autos, gelangen in die Atmosphäre und verändern deren Zusammensetzung – und damit deren Strahlungsbilanz. Es gilt: je mehr CO_2 in der Atmosphäre ist, desto weniger Wärme kann ins All entweichen. Dementsprechend steigt die durchschnittliche Erdtemperatur mit der Zunahme des CO_2-Gehalts in der Atmosphäre.

Biomasse: Biomasse ist Material aus Pflanzen und Überresten von Tieren und ist ein natürlicher Energieträger. Dadurch kann Biomasse als Brennstoff verwendet werden und erzeugt sogenannte Bioenergie. Beispiele für Biomasse sind Holz oder Mist.

CO_2-Äquivalent: Die Masseinheit CO_2-Äquivalent beschreibt den Effekt der Treibhausgase auf die Klimaveränderung. Nicht alle Treibhausgase wirken gleich stark auf das Klima. So wirkt eine Tonne Methan stärker auf die Erderwärmung als eine Tonne CO_2. Deshalb werden die anderen Treibhausgase in entsprechende Anteile CO_2 umgerechnet und zur Menge CO_2 im Sinne einer Gesamtbilanz hinzugerechnet. Damit kann die Klimawirkung einer Mischung aus verschiedenen Treibhausgasen als eine Zahl ausgedrückt werden.

CO_2-Gehalt: Menschengemachte Emissionen, wie zum Beispiel Abgase einer Fabrik oder eines Autos, gelangen in die Atmosphäre und verändern deren Zusammensetzung – und damit deren Strahlungsbilanz. Es gilt: je mehr CO_2 in der Atmosphäre ist, desto weniger Wärme kann ins All entweichen. Dementsprechend steigt die durchschnittliche Erdtemperatur mit der Zunahme des CO_2-Gehalts in der Atmosphäre.

Kohlenstoffsenken: Als Kohlenstoffsenken (auch Kohlenstoffdioxidsenken oder CO_2-Senken) werden natürliche Systeme und Prozesse bezeichnet, die mehr CO_2 aufnehmen als sie abgeben und dieses so zeitweilig oder dauerhaft speichern. Dadurch ist der CO_2-Gehalt bei Kohlenstoffsenken dynamisch, er ist veränderbar. Dazu gehören beispielsweise natürliche Böden, Wälder und Meere. Bleibt der CO_2-Gehalt konstant, spricht man von Kohlenstoffspeichern.

1,5-Grad-Grenze: Die 1,5-Grad-Grenze beschreibt das Ziel, die weltweite Erwärmung bis 2100 auf 1,5°C im Vergleich zum Jahr 1850 zu begrenzen (gemäss Pariser Klimaabkommen von 2015). Sollte dies nicht gelingen, drohen eine massive Zunahme von katastrophalen Wetter- und Klimaextremen sowie das Erreichen irreversibler Kipppunkte im Klimasystem.

Impressum

Dieses Dokument ist im Rahmen der Swiss Carbon Removal Platform entstanden, mit freundlicher Unterstützung durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU).

www.carbon-removal.ch

Autor:innen: Samuel Eberenz, Carmela Cavegn, Lucien Schriber, Kristina Koch, Nicolas Solenthaler, Matthias Holenstein.

Die Swiss Carbon Removal Platform (CDR Swiss) ist ein Projekt der Stiftung Risiko-Dialog.

Stiftung Risiko-Dialog
Zweierstrasse 25
CH-8004 Zürich

Tel. +41 58 255 25 70
info@risiko-dialog.ch
www.risiko-dialog.ch

Die Stiftung Risiko-Dialog

Seit mehr als 30 Jahren verfolgt die Stiftung Risiko-Dialog als unabhängige Plattform das Ziel, innovative und tragfähige Lösungen sowie Rahmenbedingungen zu entwickeln, um technologische Neuerungen, Veränderungen in der Umwelt und gesellschaftlichen Wandel zu verstehen und gemeinsam zu gestalten. Sie kooperiert dabei mit den jeweiligen Partner:innen aus der Zivilgesellschaft, Forschung, Wirtschaft, Behörden, sowie Politik aus dem In- und Ausland.