

Aus der Luft gegriffen: CO₂ einfangen und speichern

Kurzfassung zur Studie «Chancen und Risiken von Methoden zur Entnahme und Speicherung von CO₂ aus der Atmosphäre: Empfehlungen aufgrund der Analyse des Wissensstandes und einer systematischen Befragung von Fachleuten in der Schweiz»



Die Stiftung TA-SWISS, ein Kompetenzzentrum der Akademien der Wissenschaften Schweiz, setzt sich mit den Chancen und Risiken neuer Technologien auseinander.

Die hier vorliegende Kurzfassung basiert auf einer wissenschaftlichen Studie, die im Auftrag von TA-SWISS von einem interdisziplinären Projektteam vom Öko-Institut e.V. (Deutschland) und der Empa (Schweiz) unter der Leitung von Dr. Martin Cames (Öko-Institut) und Dr. Clemens Mader (Empa) durchgeführt wurde. Die Kurzfassung stellt die wichtigsten Resultate und Schlussfolgerungen in verdichteter Form dar und richtet sich an ein breites Publikum.

Chancen und Risiken von Methoden zur Entnahme und Speicherung von CO₂ aus der Atmosphäre: Empfehlungen aufgrund der Analyse des Wissensstandes und einer systematischen Befragung von Fachleuten in der Schweiz.

Martin Cames, Clemens Mader, Andreas Hermann, Andreas R. Köhler, Nadia Malinverno, Martin Möller, Björn Niesen, Claudia Som, Patrick Wäger

TA-SWISS, Stiftung für Technologiefolgen-Abschätzung (Hrsg.).

vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, 2023.
ISBN: 978-3-7281-4152-1

Die Studie steht als eBook zum freien Download bereit: www.vdf.ch

Die vorliegende Kurzfassung ist ebenfalls online verfügbar: www.ta-swiss.ch



Die NET: Ein Überblick	4
CO ₂ einfangen und speichern: Aber wie?	4
Warum NET? Weil es ohne nicht geht	4
Was ist netto null?	4
Zwei Wege zum Ziel: CO ₂ -Reduktion und CO ₂ -Entnahme	4
Auch die Schweiz will netto null	4
Warum eine TA-SWISS-Studie zu den NET?	5
Eine Reihe von Handlungsempfehlungen	6
Steckbrief der in der Studie analysierten NET	7
Die Fünf im Überblick	7
Der Wald als Kohlenstoffsенke: Waldmanagement und Holzverwendung	8
Bodenmanagement und Pflanzenkohle	9
Bioenergieerzeugung mit CO ₂ -Abscheidung und Speicherung (BECCS)	10
Direkte CO ₂ -Abscheidung und Speicherung (DACCS)	11
Verwitterung durch Carbonatisierung	12
Die NET als wichtiger Teil der Schweizer Klimapolitik	13
Klimaschutzinstrumente	13
Mission Net Zero	14
Empfehlungen zur Integration von NET in die Schweizer Klimapolitik	15
Ressourcennutzung: Wechselwirkungen und Zielkonflikte	16
Konkurrenz um Landfläche und Biomasse	16
Konkurrenz um Wasser	16
Konkurrenz um erneuerbare Energien	16
Empfehlungen zur Ressourcennutzung	16
Synergien und Nutzungskaskaden	17
Empfehlungen zur Nutzung von Synergien	17
Eine unverzichtbare Ergänzung, kein Ersatz	18
Empfehlungen zum Implementierungsrahmen	18
Und zum Schluss	19

Die NET: Ein Überblick

Wird der Luft CO₂ entzogen und langfristig gespeichert, werden damit bereits verursachte Emissionen rückgängig gemacht. Die zum Zweck der Kohlenstoffentnahme eingesetzten Methoden und Verfahren werden deshalb auch als Negativemissionstechnologien (NET) bezeichnet.

CO₂ einfangen und speichern: Aber wie?

Es gibt verschiedene CO₂-Entnahmeverfahren. Sie unterscheiden sich darin, wie sie das CO₂ aus der Luft abtrennen und wie der Kohlenstoff anschliessend gespeichert wird, um ihn dauerhaft aus der Atmosphäre fernzuhalten.

Einige NET verfolgen biologische Ansätze und nutzen die Fähigkeit der Pflanzen, CO₂ aufzunehmen und mittels der Photosynthese in Biomasse umzuwandeln. Bei anderen ermöglichen es technische Ansätze, das CO₂ abzuscheiden und im geologischen Untergrund oder in chemischen Verbindungen zu speichern (Einzelheiten zu den verschiedenen Verfahren siehe Seiten 7–12). Langfristig klimawirksam ist die Entnahme nur dann, wenn das CO₂ möglichst dauerhaft gebunden wird und nicht zurück in die Atmosphäre gelangt.

Warum NET? Weil es ohne nicht geht

Mit dem Pariser Klimaabkommen von 2015 hat sich die Staatengemeinschaft verpflichtet, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2°C und wenn möglich auf 1,5°C zu begrenzen. Der beste Ansatz dafür ist, die Menge der ausgestossenen Treibhausgase so rasch wie möglich zu drosseln. Zum Beispiel indem fossile Brennstoffe durch erneuerbare Energien und emissionsintensive Technologien durch klimafreundlichere Varianten ersetzt werden.

Die bisher beschlossenen Massnahmen zur Emissionsreduzierung genügen gemäss Weltklimarat aber nicht mehr, um die menschgemachte Klimaerwärmung in den Griff zu bekommen. Hier kommt die Idee der negativen Emissionen ins Spiel: Technische Lösungen sollen ergänzend einen Teil der bereits ausgestossenen und die schwer vermeidbaren Treibhausgase aus der Atmosphäre holen und speichern. Der Weltklimarat schätzt, dass der Atmosphäre im Verlauf dieses Jahrhunderts je nach Modellszenario insgesamt zwischen 100 bis 1000

Milliarden Tonnen CO₂ entnommen werden müssten, damit sich global eine Netto-Null-Bilanz ergibt. Zum Vergleich: Der weltweite jährliche CO₂-Ausstoss beträgt derzeit rund 37 Milliarden Tonnen.

Was ist netto null?

Netto-Null-Emissionen bedeutet, dass der Ausstoss der Treibhausgase in die Atmosphäre nicht grösser ist, als die Fähigkeit natürlicher (Wälder und Böden) oder technischer Senken, diese Gase zu binden. Unter dem Strich würden dann keine zusätzlichen Treibhausgase mehr emittiert. Dann würde die Menschheit die Erde nicht mehr weiter erwärmen.

Zwei Wege zum Ziel: CO₂-Reduktion und CO₂-Entnahme

Klimamodelle zeigen: Zum Ausgleich schwer vermeidbarer Restemissionen sind NET eine unverzichtbare Ergänzung, aber gleichzeitig eben nicht mehr als das. Ambitionierte CO₂-Einsparmassnahmen ersetzen können sie auf keinen Fall. Dafür ist ihr Potenzial nicht gross genug und ihre Anwendung noch mit zu hohen Kosten und zu vielen Unsicherheitsfaktoren verbunden. Um die Klimaziele zu erreichen, braucht es beide Möglichkeiten, den Gehalt an Treibhausgasen in der Atmosphäre zu verringern: Primär die Reduktion der Menge ausgestossener Treibhausgase und zusätzlich die Verfahren zur CO₂-Entnahme sowie Treibhausgassenken für die übrigbleibenden Emissionen.

Auch die Schweiz will netto null

Der Bundesrat will bis zum Jahr 2050 eine klimaneutrale Schweiz. Dieses ambitionierte Ziel will er in erster Linie durch Reduktionsmassnahmen erreichen. Nur sogenannte Restemissionen, d.h. Treibhausgasemissionen, die sich nur schwer vermeiden lassen (z. B. Lachgas aus Landwirtschaft und Tierhaltung oder der CO₂-Ausstoss bei der Zementherstellung oder der Kehrlichtverbrennung), sollen durch den Abbau von Treibhausgasen ausgeglichen werden. Das bedeutet, dass die gleiche Menge von ausgestossenem CO₂ der Atmosphäre wieder entzogen wird. Weil jede Tonne CO₂, wann und wo immer sie auch emittiert wird, etwa gleich viel zur Erwärmung beiträgt, kann das irgendwo auf der Welt passieren.

Warum eine TA-SWISS-Studie zu den NET?

Obwohl NET also einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten könnten, kommen sie bisher kaum zur Anwendung. Das hängt damit zusammen, dass insbesondere die technischen Verfahren teilweise noch in den Kinderschuhen stecken: nicht vollständig erforscht, in der Praxis weitgehend unerprobt, technisch komplex, enorm kostspielig und vorerst nicht in grossem Massstab einsetzbar. Dazu kommen Fragen zur möglichen Umweltbelastung und zum Transport des CO₂ zu den Speicherstätten – sowie ein sehr hoher Mehrbedarf an (erneuerbarer) Energie.

Dies ist die Ausgangslage, die TA-SWISS dazu bewegen hat, eine Studie zu beauftragen, um Politik und Öffentlichkeit über Chancen, Grenzen (Kosten, Machbarkeit, Dauerhaftigkeit, Klimawirksamkeit) und Risiken (Umweltaspekte, Nebenwirkungen auf Landwirtschaft und Bevölkerung) verschiedener Methoden zur CO₂-Entnahme und Speicherung zu informieren. Damit will die Stiftung eine ausgewogene und faktenbasierte Debatte über den Stellenwert der NET in der Klimastrategie unterstützen. Denn wie und in welchem Zeitrahmen der Ausbau der NET realisiert, welche Technologievarianten und welcher Technologiemark mix wo zum Zug kommen sollen, muss Gegenstand einer gesellschaftlichen und politischen Auseinandersetzung sein.

Die Technikfolgen-Abschätzung lotet das Spannungsverhältnis zwischen neuen Technikentwicklungen, Gesellschaft und Umwelt aus. In diesem Sinne evaluiert die TA-SWISS-Studie fünf für die Schweiz relevante NET. Mithilfe von LOTA (Landscape of Opinions for Technology Assessment), einer von der Universität Zürich und der Empa entwickelten und hier erstmals angewandten Online-Befragungsmethodik, wurden die Meinungen einer breiten Palette von Stakeholdern erfasst und als Meinungslandschaften visualisiert. Diese dienen im weiteren methodischen Prozess dazu, eine Vielfalt an Perspektiven hinsichtlich der Chancen und Risiken unterschiedlicher Expertise- und Meinungsgruppen mithilfe von Tiefeninterviews und einem Stakeholderworkshop einzubinden. Gemeinsam wurden die Aussagen aus wissenschaftlich-systemischer Sicht reflektiert und fanden durch diese transdisziplinäre Vorgehensweise Eingang in die Entwicklung der Handlungsempfehlungen. Befragt wurden Stakeholder aus Wirtschaft, Wissenschaft, der öffentlichen Verwaltung sowie der Zivilgesellschaft. Durchgeführt wurde die umfassende und detailreiche Studie, welche die hier vorliegende Kurzfassung in ihren wesentlichsten Punkten zusammenfasst, vom Öko-Institut und der Empa.



Eine Reihe von Handlungsempfehlungen

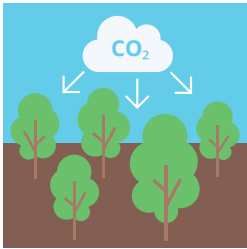
Damit der Beitrag der NET zum Schweizer Netto-Null-Ziel sozial- und umweltverträglich realisiert werden kann, sollten laut der Studie in der Schweiz NET-übergreifend folgende Empfehlungen umgesetzt werden. Manche davon wurden inzwischen in die Wege geleitet, werden hier ihrer Bedeutung wegen aber noch einmal explizit erwähnt:

- Die Öffentlichkeit ist mittels faktenbasierter, konsistenter und nachvollziehbarer Informationen zu den NET in die gesellschaftliche Debatte über die Gestaltung der Technologieentwicklung einzubeziehen.
- Eine Multistakeholder-NET-Taskforce unter der Leitung des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) soll die Zusammenarbeit der involvierten Akteure aus Regierung und Verwaltung (Bund, Kantone, Gemeinden) sowie aus Wissenschaft und Wirtschaft sicherstellen und die gesetzlichen Grundlagen, Infrastrukturen und marktwirtschaftlichen Voraussetzungen für eine rasche und effiziente Umsetzung der NET in die Wege leiten.
- Der Bund soll eine übergreifende Strategie zur Nutzung von begrenzten Ressourcen (z. B. Wasser, Biomasse oder Boden) mit genau definierten Zielen, Prioritäten Grenzwerten und Richtlinien erarbeiten.
- Die Finanzierung der Entwicklung und Umsetzung von NET ist frühzeitig abzuklären, damit sie möglichst verursachergerecht von den Treibhausgas-Emittierenden getragen wird, z. B. durch einen angemessenen CO₂-Preis. Auch die Zuständigkeiten für die Finanzierung von Suche, Ausbau und Betrieb geologischer Speicher sollen geklärt und gesichert werden.
- Die Mindestzeitdauer der CO₂-Fixierung (Permanenz), ab welcher eine Technologie bzw. ein NET-Projekt im Sinne der Klimastrategie anerkannt wird, sollte als klar definiertes und glaubwürdiges Gütesiegel in der CO₂-Verordnung verankert werden. Die derzeit diskutierte Permanenz von 30 Jahren CO₂-Speicherung sollte hinterfragt und erweitert werden.
- Es sollen transparente, wissenschaftsbasierte und einfach umsetzbare Berechnungs- und Erfassungsmethoden für die einzelnen NET erarbeitet werden, um damit den Bewertungsrahmen für diese Technologien zu stärken und Doppelzählungen zu verhindern.
- Für Emissionsreduktion und negative Emissionen sind getrennte Ziele festzulegen. Damit wird die Rolle der NET als ergänzende Option zur Erreichung des Netto-Null-Ziels klar festgelegt und eine Verwässerung der Reduktionsbemühungen verhindert.
- Die Schweiz soll ihre Vorreiterrolle bei der Entwicklung der NET festigen. Dazu sollen nationale und internationale Forschungsprogramme koordiniert und die nötigen Mittel zur Erforschung von Wissenslücken bereitgestellt werden.
- Die Begleitforschung zu Chancen und Risiken der NET soll im Rahmen von Reallaboren gefördert werden.

Zusätzlich zu diesen allgemeinen Empfehlungen wird in der Studie «Chancen und Risiken von Methoden zur CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre und Speicherung: Empfehlungen aufgrund der Analyse des Wissensstandes und einer systematischen Befragung von Fachleuten in der Schweiz» eine Liste von insgesamt 26 spezifischen Empfehlungen für jede der analysierten NET-Technologien vorgelegt und ausführlich diskutiert.

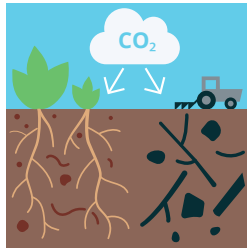
Steckbrief der in der Studie analysierten NET

Die Fünf im Überblick



CO₂ in Form von Biomasse im Wald speichern und Holz verwenden:

Bäume nehmen CO₂ aus der Luft auf und speichern den Kohlenstoff langfristig in ihrem Holz, das zu langlebigen Produkten verarbeitet werden kann.



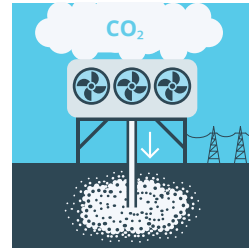
CO₂ in Form von Humus oder Pflanzenkohle im Boden speichern:

Mit gezieltem Bodenmanagement wird Kohlenstoff in die Böden eingearbeitet und dort gespeichert, z. B. mittels Agroforstsystemen oder Ansätzen der konservierenden Landwirtschaft.



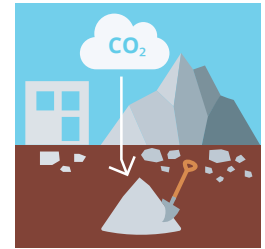
CO₂ am Kamin abscheiden (BECCS):

Pflanzen wandeln CO₂ in Biomasse um, die beim Verbrennen Energie liefert. Das dabei wieder freigesetzte CO₂ wird aufgefangen und unterirdisch eingelagert.



CO₂ aus der Luft filtern (DACCS):

Anstelle von Pflanzen entnehmen technische Anlagen der Atmosphäre CO₂ und speichern es im Untergrund.



Beschleunigte Verwitterung von Abbruchbeton und Gestein:

In der Natur reagieren Mineralien mit CO₂ und binden auf diese Weise den Kohlenstoff. Durch technische Prozesse kann dieser Vorgang der Carbonatisierung beschleunigt werden.

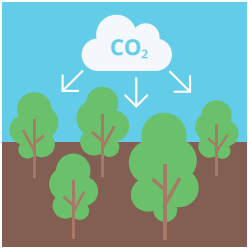
NET-übergreifende Chancen ...

- Der Einsatz von NET kann der Schweiz dabei helfen, ihre Klimaschutzziele zu erreichen, ohne die Entwicklung des wirtschaftlichen Wohlstands aus den Augen zu verlieren.
- Ein nachhaltiges Wald- und Bodenmanagement, Holzverwendung und der Einsatz von Pflanzenkohle haben neben ihrer Funktion als CO₂-Senken auch das Potenzial, Biodiversität, Bodenqualität, Wasserhaushalt sowie die Resilienz gegenüber Dürren und Starkniederschlägen zu fördern.
- NET können die Kreislaufwirtschaft unterstützen, beispielsweise indem CO₂ in Beton-Abfällen fixiert und zur Weiterverwendung in neue Baustoffe eingebunden wird.
- Die Schweiz ist derzeit im Bereich der Entwicklung und Anwendung verschiedener NET-Verfahren führend. Mit dem Ausbau der NET bietet sich dem Forschungs- und Werkplatz Schweiz die Chance, diese Position weiter zu stärken.

... und Risiken

- Der Verzicht auf die Abklärung des NET-Potenzials und seine Umsetzung und Skalierung im Sinne des Vorsorgeprinzips könnte dazu führen, dass die Schweiz ihre Klimaziele verpasst.
- Interessenskonflikte, beispielsweise hinsichtlich der Nutzung begrenzter Ressourcen wie Biomasse, Wasser, Land und erneuerbare Energien
- Der Umfang der möglichen Umweltbelastungen einzelner NET ist unklar. Und obwohl die Datlage für die Sicherheit der geologischen Speicherung spricht, bestehen auch diesbezüglich weiterhin Bedenken.
- Ein zu grosses Vertrauen in die NET könnte dazu verleiten, ambitionierte Klimaschutzbestimmungen und Reduktionsbemühungen zu vernachlässigen.

Der Wald als Kohlenstoffsенке: Waldmanagement und Holzverwendung



Das Prinzip: Bäume wandeln atmosphärisches CO₂ mittels Photosynthese in Biomasse um und speichern den Kohlenstoff (C) im Holz, in Wurzeln und im Boden. Die Speicherleistung der Schweizer Wälder liegt zwischen 1,6 bis 4,5 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr. Wälder wirken aber nur als CO₂-Senke, solange sie wachsen und mehr Holz gebildet wird als verrottet, verbrennt oder geerntet wird. Denn bei all diesen Prozessen wird das CO₂ wieder freigesetzt.

Eine nachhaltige Waldbewirtschaftung sorgt dafür, dass der Wald seine vielfältigen Funktionen (Schutz, Nutzen, Erholungsraum) erfüllt und gleichzeitig zur Treibhausgasreduktion beiträgt. Bewirtschaftete Wälder speichern mehr CO₂ als naturbelassene Wälder.

Zum Waldmanagement gehören insbesondere:

Aufforstung: das Pflanzen von Bäumen auf bisher nicht bewaldeten Flächen

Vergandung: natürliche Wiederbewaldung von unbewirtschafteten Alpenweiden und damit Zunahme von Biomasse

Waldbewirtschaftung / Holzverwendung: In einem gesunden Wald wird das CO₂ zunächst einige Jahrzehnte in den Bäumen gespeichert. Durch die gezielte Ernte von Holz kann das Waldmanagement nachhaltig gestaltet werden. Das Holz sollte über mehrere Etappen (Kaskadennutzung) in langlebigen Produkten effizient genutzt werden. Dadurch wird der Kohlenstoff möglichst lang aus der Atmosphäre ferngehalten. Am Ende der Nutzungsdauer wird das Holz schliesslich thermisch genutzt (d. h. verbrannt).



Kosten: je nach Quelle zwischen 1–100 US\$/t CO₂ (Schweiz)



NET-Potenzial¹: Wenn der Wald nachhaltig bewirtschaftet und das Holz verwendet wird (inkl. Substitutionseffekt) ca. 3 Mio. Tonnen CO₂/Jahr (Schweiz).



Technologiereifegrad: 9–10

¹ Die für alle NET hier angegebenen Potenziale sind theoretische Potenziale: Welche Potenziale tatsächlich realisierbar sein werden, ist von technischen, wirtschaftlichen und sozialen Aspekten abhängig.

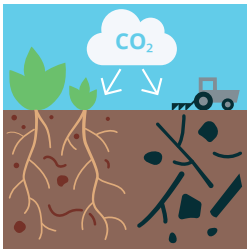
Chancen

- Förderung von Biodiversität, Vielfalt und der natürlichen Verjüngung des Waldes
- Da die Energiequelle der Photosynthese die natürliche Sonneneinstrahlung ist, benötigt dieses NET-Verfahren nur geringe Mengen an technisch bereitgestellter Energie für Forstmaschinen und Holztransporte.
- Langfristig kann die CO₂-Bilanz des Schweizer Waldes durch die Förderung des Holzzuwachses und unter Berücksichtigung der ökologischen Funktionen des Totholzes optimiert werden. Zentral dabei ist die Kaskadennutzung des Holzes.
- Durch die Verwendung von Holz als Baumaterial wird der darin gebundene Kohlenstoff über Jahrzehnte gespeichert. Gleichzeitig kann Bauen mit Holz teilweise andere CO₂ intensive Baustoffe wie Stahl oder Beton ersetzen.

Risiken

- Die Dauer der Speicherung des Kohlenstoffs in Wald und Holz ist ungewisser als bei der Speicherung von CO₂ im Untergrund.
- Klimawandel, Waldbrände, Dürren, Rodungen oder Schädlingsbefall können dazu führen, dass das CO₂ wieder freigesetzt wird.
- Grosser Landbedarf: Für grossflächige Aufforstungen fehlen in der Schweiz nicht bewaldete Flächen.
- Die natürliche oder geplante Aufforstung kann zu Nutzungskonflikten führen, zum Beispiel wenn in Berggebieten potenzielle Waldstandorte durch Beweidung offengehalten werden, um Kulturlandschaft zu erhalten. Die Nutzung von Landflächen für das Waldmanagement kann auch die Senkenleistung anderer NET beeinträchtigen.

Bodenmanagement und Pflanzenkohle



Das Prinzip: So wie die Bäume wandeln alle Pflanzen CO_2 aus der Luft mittels Photosynthese in Biomasse um und speichern den Kohlenstoff in Blättern, Stengeln, Wurzeln und Früchten. Nach dem Absterben der Pflanzen bauen Bodenorganismen das tote Pflanzenmaterial ab und setzen dabei CO_2 frei. Ein Teil des Pflanzenmaterials wird jedoch in organische Bodensubstanz (Humus) umgewandelt und verbleibt längere Zeit im Boden.

Durch die Bodenbewirtschaftung kann das Verhältnis zwischen Humusaufbau und -abbau beeinflusst werden. Wird Humus aufgebaut, nimmt der Boden mehr CO_2 auf als er freisetzt. Die Verweildauer des Kohlenstoffs im Humus reicht je nach Bodenart, Bewirtschaftung und Umweltbedingungen von Jahrzehnten bis zu Jahrhunderten. Durch gezieltes Bodenmanagement kann die organische Kohlenstoffspeicherung in Form von Humus erhöht werden. Zum Beispiel indem landwirtschaftliche Böden minimal bearbeitet, Fruchtfolgen verbessert, Ernterückstände auf dem Feld belassen, tiefwurzelnde Pflanzen angebaut oder Äcker zu Grünland umgewandelt werden, d.h. durch Methoden der konservierenden Landwirtschaft. Mit Agroforstsystemen, d.h. der Kombination von landwirtschaftlichen Flächen mit Bäumen oder Sträuchern, kann Biomasse aufgebaut und organischer Kohlenstoff im Boden gespeichert werden.

Durch die Bodenbewirtschaftung kann das Verhältnis zwischen Humusaufbau und -abbau beeinflusst werden. Wird Humus aufgebaut, nimmt der Boden mehr CO_2 auf als er freisetzt. Die Verweildauer des Kohlenstoffs im Humus reicht je nach Bodenart, Bewirtschaftung und Umweltbedingungen von Jahrzehnten bis zu Jahrhunderten. Durch gezieltes Bodenmanagement kann die organische Kohlenstoffspeicherung in Form von Humus erhöht werden. Zum Beispiel indem landwirtschaftliche Böden minimal bearbeitet, Fruchtfolgen verbessert, Ernterückstände auf dem Feld belassen, tiefwurzelnde Pflanzen angebaut oder Äcker zu Grünland umgewandelt werden, d.h. durch Methoden der konservierenden Landwirtschaft. Mit Agroforstsystemen, d.h. der Kombination von landwirtschaftlichen Flächen mit Bäumen oder Sträuchern, kann Biomasse aufgebaut und organischer Kohlenstoff im Boden gespeichert werden.

Auch unter den Boden gepflügte Pflanzenkohle, d.h. unter grosser Hitze und unter Ausschluss von Sauerstoff (Pyrolyse) verkohlte Biomasse, bindet CO_2 langfristig als Kohlenstoff. Pflanzenkohle wird als Düngerzusatz, in der Tierhaltung, als Werkstoff und in der Umwelt und Energietechnik eingesetzt. Der in ihr enthaltene Kohlenstoff wird nur sehr langsam wieder freigesetzt.



Kosten Bodenmanagement: je nach Quelle zwischen 0–80 US\$/t CO_2

Kosten Herstellung und Einsatz Pflanzenkohle: je nach Quelle zwischen 10–135 US\$/t CO_2



NET-Potenzial Bodenmanagement: rund 2,7 Mio. Tonnen CO_2 /Jahr (solange, bis der Boden mit Kohlenstoff gesättigt wäre, d. h. wenige Jahrzehnte)

NET-Potenzial von Agroforstsystemen: Würden 13,3% der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz zu Agroforstsystemen umgewandelt, könnten bis zu 13% der Treibhausgasemissionen des Landwirtschaftssektors kompensiert werden.

NET-Potenzial von Pflanzenkohle im Boden: bis zu 2,2 Mio. Tonnen CO_2 /Jahr



Technologiereifegrad: Bodenmanagement und Agroforstwirtschaft 10, Pflanzenkohle 9

Chancen

- Verbesserung von Humusaufbau, Ökosystemleistung und Bodenqualität
- Agroforstsysteme können die Bodenerosion einschränken, die Wasserinfiltration erleichtern, die physikalischen Eigenschaften des Bodens verbessern und als Puffer gegen extreme Ereignisse dienen.
- Pflanzenkohle bindet Kohlenstoff langfristig und kann in diversen Branchen eingesetzt werden.

Risiken

- Durch natürliche oder menschengemachte Störungen und Klimaveränderungen kann der in den Böden organisch gebundene Kohlenstoff wieder freigesetzt werden.
- Durch Agroforstwirtschaft können Ernteerträge sinken und Produktionskosten steigen; Nutzungskonflikte mit der Nahrungsmittelproduktion können entstehen. Langzeitstudien zu Durchführbarkeit, Produktivität und Verbesserung der CO_2 -Speicherung in Schweizer Böden fehlen.
- Durch das Ausbringen von Pflanzenkohle können Schadstoffe (z. B. Schwermetalle) in die Böden gelangen und sich in der Nahrungskette anreichern.
- Pflanzenkohle steht wegen ihrem Bedarf an Biomasse mit anderen NET in Konkurrenz.

Bioenergieerzeugung mit CO₂-Abscheidung und Speicherung (BECCS)



Das Prinzip: Pflanzen binden beim Wachsen CO₂ aus der Atmosphäre und wandeln es in Biomasse um. Bei der Verbrennung, Verschwelung oder Vergasung von Biomasse entweicht das aufgenommene CO₂ wieder.

In Bioenergieanlagen wird es direkt aus dem Abgas abgeschieden, in tief liegenden Erdschichten eingelagert oder verdichtet per Tankwagen oder Pipeline in eine Lagerstätte im Ausland transportiert. Bei BECCS (Bioenergy with carbon capture and storage) wird Biomasse also einerseits energetisch genutzt (d.h. in Strom oder Wärme umgewandelt) und kann andererseits mithilfe geeigneter Technologien negative Emissionen erzeugen.

Weil bei BECCS die CO₂-Abscheidung und Speicherung gleichzeitig mit der Produktion von erneuerbarer Energie kombiniert ist, ruhen auf dieser NET grosse Hoffnungen. Sie spielt in allen Szenarien des Weltklimarates eine wichtige Rolle.

Für die CO₂-Abscheidung bestehen bereits Demonstrationsanlagen, u.a. in den USA und in Grossbritannien. Eine wichtige Voraussetzung für ihre Nutzung ist die Erkundung und Erschliessung sicherer geolo-

gischer Speicher. In der Schweiz gibt es zurzeit keine Speicherstätten für das abgeschiedene CO₂, dieses könnte jedoch, z. B. über (neue) Pipelines, in geologische Speicher im Ausland transportiert werden. Zum Einsatz kommen dürfte BECCS hierzulande vor allem bei Kehrichtverbrennungsanlagen, Zementwerken, Abwasserreinigungsanlagen und Chemiefirmen.



Kosten: je nach Quelle zwischen 30–400 US\$/t CO₂



NET-Potenzial BECCS: rund 5,1 Mio. t CO₂/Jahr, wenn die gesamte in der Schweiz verfügbare Biomasse genutzt würde (ab 2050)



Technologiereifegrad: 9

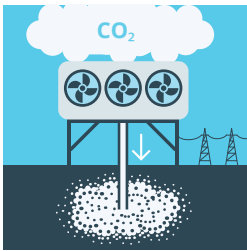
Chancen

- Theoretisch kann CO₂ unterirdisch über sehr lange Zeiträume gespeichert werden.
- Eine CO₂-Abscheidung lässt sich mit BECCS in industrieller Grössenordnung kosten- und energieeffizienter bewerkstelligen als mit dem DACCS-Verfahren, da die CO₂-Konzentration in Abgasen viel höher ist als in der Luft.
- Die BECCS-Methode hat wirtschaftliches Potenzial, da sich die Kaskadennutzung der für andere Zwecke nicht mehr geeigneten Biomasse zu einer zusätzlichen Einkommensquelle für Land- und Forstwirte entwickeln kann.

Risiken

- Wenn Biomasse speziell für BECCS produziert werden muss, kann es aufgrund des hohen Land-, Wasser- und Düngemittelbedarfs zu Nutzungskonflikten mit der Nahrungsmittelproduktion sowie zu negativen Auswirkungen auf die Biodiversität (insbesondere bei Biomasse-Monokulturen) kommen.
- Der Transport der Biomasse zur BECCS-Anlage, der Energie- und Materialaufwand beim Betrieb sowie die geologische Einlagerung des CO₂ sind mit hohen Energie- und Materialkosten verbunden und könnten zu Abhängigkeiten von Drittstaaten führen.
- Zur Dauerhaftigkeit der CO₂-Speicherung gibt es offene Fragen. Dies könnte allenfalls zu gesellschaftlichen Kontroversen führen.

Direkte CO₂-Abscheidung und Speicherung (DACCS)



Das Prinzip: Bei der DACCS-Technologie (Direct air carbon capture and storage) wird CO₂ maschinell aus der Atmosphäre gefiltert und im Untergrund gespeichert. Die CO₂-Aufnahme erfolgt bei diesem Verfahren

also nicht durch Pflanzen, sondern durch eine technische Anlage.

Durch die Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre können anderswo (z. B. in der Landwirtschaft) schwer vermeidbare Emissionen von Treibhausgasen ausgeglichen werden – rechnerisch sogar solche, die gar keinen Kohlenstoff enthalten (z. B. Lachgas). Die Abscheidung von CO₂ aus der Umgebungsluft geschieht mit chemischen Bindemitteln (Absorptions- und Adsorptionsverfahren). Das vom Bindemittel getrennte reine CO₂ wird anschliessend verflüssigt, transportiert und tief unter der Erde dauerhaft deponiert. Zurzeit stehen geeignete geologische Tiefenspeicher vor allem im Ausland zur Verfügung, z. B. in Island oder Norwegen.

Die weltweit erste kommerzielle DACCS-Anlage ist 2021 in Island eingeweiht worden. Entwickelt wurde sie vom Schweizer Unternehmen Climeworks in Zusammenarbeit mit der isländischen Firma Carbfix.

Bei Volllast soll sie pro Jahr rund 4000 Tonnen CO₂ aus der Luft ziehen. Für den Einsatz im grosstechnischen Massstab muss die Technologie weiterentwickelt werden.



Kosten im gegenwärtigen Entwicklungszustand: je nach Verfahren zwischen 80–210 US\$/t CO₂ (Absorptionsverfahren) und 560–730 US\$/t CO₂ (Adsorptionsverfahren)

Langfristig vorausgesagte Kosten: 100 US\$/t CO₂



NET-Potenzial DACCS: Das totale geologische Speicherpotenzial in der Schweiz wird auf maximal etwa 2500 Mio. Tonnen CO₂ geschätzt.



Technologiereifegrad: 7–8

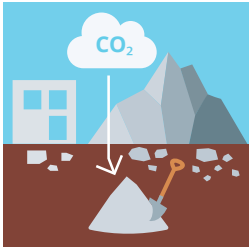
Chancen

- Unterirdisch sollte CO₂ über sehr lange Zeiträume gespeichert werden können. Diese Technologie ist zudem gut skalierbar und nicht von Biomasse abhängig.
- DACCS ist nicht standortgebunden. Um den Transportaufwand für das CO₂ und die Gesamtkosten zu minimieren, können DACCS-Anlagen daher dort errichtet werden, wo sowohl erneuerbare Energiequellen als auch geologische CO₂-Lagerstätten verfügbar sind.
- Da für den Prozess hauptsächlich Wärme benötigt wird, kommt als Energiequelle je nach Verfahren auch Abwärme aus Industrieprozessen oder Geothermie in Frage.

Risiken

- DACCS verursacht hohe Kosten und tritt in Konkurrenz um erneuerbare Energiequellen: Weil der CO₂-Anteil in der Luft gering ist, müssen die Anlagen sehr grosse Mengen Luft filtern. Die CO₂-Abscheidung ist deshalb teurer und energieaufwändig. Zudem benötigen einige der angewandten Verfahren grosse Mengen an Chemikalien und Wasser.
- Bei der geologischen Einlagerung des abgeschiedenen CO₂ bestehen je nach Einlagerungsmethode Risiken in Bezug auf die Dauerhaftigkeit der Speicherung und damit potenziell gesellschaftliche Kontroversen.
- Die langfristige Klimastrategie der Schweiz orientiert sich an Szenarien, in welchen negative Emissionen aus DACCS-Anlagen im Ausland eingekauft werden. Dadurch könnten sich (ähnlich wie derzeit bei Öl und Gas) infrastrukturelle und vertragsrechtliche Abhängigkeiten von Drittstaaten ergeben

Verwitterung durch Carbonatisierung



Das Prinzip: Bei der Verwitterung reagieren gewisse Mineralien wie Silicatgesteine mit CO₂ und binden den Kohlenstoff. Dieser Carbonatisierung genannte chemische Prozess, der in der Natur sehr langsam

abläuft, kann technisch beschleunigt werden. Ein Ansatz besteht darin, Gestein fein zu zermahlen und grossflächig auf landwirtschaftlichen Böden oder Waldböden zu verteilen.

Auch in verbautem Beton findet der Verwitterungsprozess statt (und ist in der Regel unerwünscht, da er die Stahlträger im Beton zum Rosten bringt). Auch dieser Vorgang lässt sich technisch stark beschleunigen. Für das Klima ist das eine gute Nachricht: Mithilfe neuartiger Carbonatisierungsverfahren kann Abbruchbeton bis zu 33% der Treibhausgase, die bei seiner Herstellung frei werden, wieder schlucken. Dazu wird Betonschutt zermahlen und mit reinem CO₂ (z. B. aus BECCS-Anlagen) in Kontakt gebracht. Das Produkt ist ein Kalksteinmehl, das später als Füllstoff oder Gesteinskörnung für die Herstellung von neuem Beton wiederverwendet werden kann. Dadurch verringert sich der CO₂-Fussabdruck von neuen Betonprodukten.

Die Schweizer Unternehmen Neustark, zirkulit und Sika entwickeln neuartige Verfahren zur Speicherung von CO₂ in Abbruch- und Recyclingbeton.



Kosten: Bei Abbruchbeton je nach Quelle und unter Berücksichtigung der Investitionskosten für spezielle Anlagen fallen zwischen 140 – 940 US\$ / t CO₂ an. Bis 2050 könnten die Kosten auf 75 US\$ / t CO₂ sinken. Bei Naturgestein werden Kosten von 70 –130 US\$ / t CO₂ angenommen.



NET-Potenzial: bis zu 2,5 Mio. t CO₂ im Jahr 2050



Technologiereifegrad: Carbonatisierung 5 – 6; Ausbringung 3

Chancen

- Die beschleunigte Verwitterung von Abbruchbeton hat das Potenzial, bis zu 33% der bei der Zementherstellung ausgestossenen CO₂-Emissionen wieder zu binden.
- Die chemische Bindung von CO₂ in Abbruchbeton ist sehr stabil und verspricht eine lange CO₂-Speicherung, möglicherweise über Jahrhunderte.
- Auf landwirtschaftlichen Böden ausgebrachter Abbruchbeton kann zur Reduktion der Lachgasemissionen beitragen.

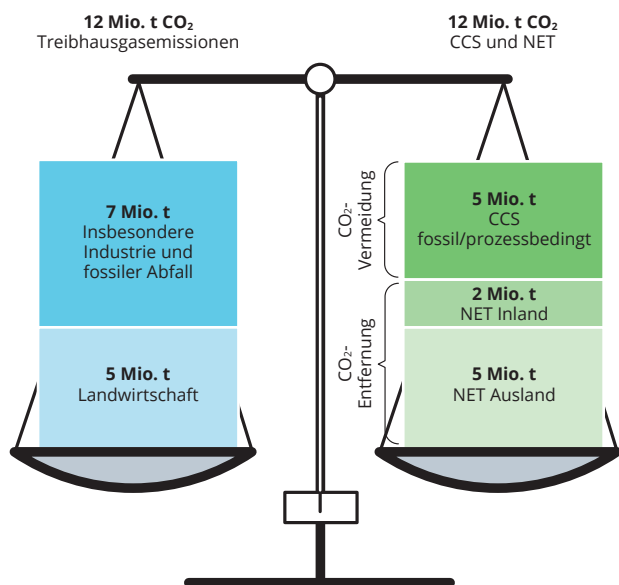
Risiken

- Das Ausbringen von zerkleinertem Beton kann zu einer Anreicherung von Schadstoffen im Boden führen und sich negativ auf Pflanzen und Organismen auswirken. Zudem beansprucht es grosse Flächen.
- Die Zerkleinerung von Gestein und Abbruchbeton ist mit grossem Energiebedarf verbunden.
- Die Stabilität der CO₂-Fixierung als Carbonatmineral in Böden ist noch nicht ausreichend erforscht.

Die NET als wichtiger Teil der Schweizer Klimapolitik

Als Alpenland ist die Schweiz besonders stark vom Klimawandel betroffen: Die Temperaturen steigen hier doppelt so stark wie im weltweiten Durchschnitt. Der Bundesrat hat 2019 beschlossen, dass die Schweiz bis 2050 unter dem Strich keine Treibhausgase mehr produzieren soll: Sie darf ab dann nur noch so viel CO₂ freisetzen, wie dauerhafte natürliche und technische Senken im gleichen Umfang wieder aufnehmen können.

Das Netto-Null-Ziel soll in erster Linie dadurch erreicht werden, die von der Schweiz verursachten Emissionen so weit wie möglich zu reduzieren. Den NET wird auf dem Weg zu netto null die Rolle zuteil, schwer vermeidbare Restemissionen auszugleichen. Konkrete Massnahmen sollen dabei helfen, diese Technologien schrittweise aufzubauen. Der Bundesrat sieht dies nicht nur als klimapolitische Notwendigkeit an, sondern auch als Chance für den Forschungs- und Werkplatz Schweiz.



Bis 2050 will die Schweiz in der Lage sein, jährlich 7 Mio. Tonnen CO₂ im In- und Ausland aus der Luft zu entfernen. Zusätzliche 5 Mio. Tonnen CO₂-Emissionen pro Jahr aus fossilen Quellen sollen direkt an der Quelle abgefangen und dauerhaft gespeichert werden – die Rede ist dann von Carbon Capture and Storage (CCS). Auf 12 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr werden also die Restemissionen geschätzt, welche die Schweiz trotz aller Reduktionsanstrengungen bis 2050 nicht vermeiden können. Zum Vergleich:

Im Jahr 2020 wurden in der Schweiz insgesamt 43,4 Mio. Tonnen CO₂ ausgestossen.

Auch das Parlament hat im September 2022 einen indirekten Gegenvorschlag zur Gletscher-Initiative beschlossen, der im Kern das Netto-Null-Ziel bis 2050 im Gesetz festschreiben will. Weil gegen das neue Gesetz das Referendum ergriffen wurde, wird die Schweizer Bevölkerung im Juni 2023 darüber abstimmen.

Klimaschutzinstrumente

Ohne NET lassen sich die Klimaziele von Paris nicht erreichen. Gleichzeitig sollen NET die Klimaanstrengungen nicht unterlaufen: Die möglichst vollständige Reduktion von Treibhausgasemissionen durch konventionelle Reduktionsmassnahmen wie den genügsameren Umgang mit Energie, den Ersatz von fossilen durch erneuerbare Energien oder technische Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz von Produktionsprozessen, Gebäuden und Fahrzeugen haben weiterhin Priorität. Verschiedene Mechanismen und Anreizsysteme tragen dazu bei, solche Massnahmen zu fördern. Stark vereinfacht gesagt geht es darum, den Preis für den Ausstoss von Treibhausgasen zu verteuern. Dadurch wird es wirtschaftlich rentabler, fossilen Brennstoffen alternative Energiequellen vorzuziehen und in energieeffizientere Anlagen und Produktionsweisen zu investieren.

In der Schweiz sind die wichtigsten Tools dafür CO₂-Abgaben auf Brennstoffen und das Emissionshandelssystem (EHS). Beim EHS definiert der Staat eine Obergrenze der zugelassenen Emissionen und teilt den treibhausgasintensivsten Industrieanlagen – teils kostenlos, teils über Versteigerungen – eine jährlich sinkende Menge an Emissionsrechten zu, die zum Ausstoss einer bestimmten Menge CO₂ berechtigen. Unternehmen, die ihre Emissionsrechte nicht ausschöpfen, können sie an weniger effiziente Unternehmen weiterverkaufen. Dadurch, dass die Emissionsrechte auf dem Markt gehandelt werden, bildet sich ein Preis für den Ausstoss von Treibhausgasen. Das Schweizer EHS ist mit dem EHS der EU verknüpft.

Auch Kompensationsprojekte im In- und Ausland führen zu Emissionsverminderungen. So sind zum Beispiel die Hersteller und Importeure fossiler Treibstoffe verpflichtet, einen Teil der CO₂-Emissionen aus dem Verkehr durch die Unterstützung von Klimaschutzprojekten auszugleichen. Für die in diesen Projekten erzielte Treibhausgasreduktion erhalten sie nationale oder internationale Bescheinigungen, die sie sich an ihr eigenes Reduktionsziel anrechnen lassen können. Neu sind seit 2022 auch Projekte zur CO₂-Speicherung zulässig.

Schliesslich fördern der Bund und verschiedene Kantone und Gemeinden klimafreundliches Verhalten durch eine Reihe von Förderprogrammen und Anreizen. Solche Mechanismen sollen nicht zuletzt den Rückhalt in der Bevölkerung sicherstellen. Auch die Neuauflage der an der Urne gescheiterten CO₂-Gesetzesrevision kommt ohne neue Abgaben aus. Die Bevölkerung solle nicht den Eindruck haben, «durch die Klimapolitik bestraft zu werden», erklärte der Bundesrat dazu.

Mission Net Zero

Kohlenstoffvermeidung



Kohlenstoffentfernung



Wie sich NET-Projekte von klassischen Kompensationsprojekten unterscheiden

Kohlenstoffvermeidung: Um die eigenen Emissionen zu kompensieren, werden Klimaprojekte finanziert, dank denen anderswo im selben Umfang weniger Emissionen produziert werden. Die bereits in die Atmosphäre ausgestossene Menge CO₂ verändert das nicht.

Kohlenstoffentfernung: Um die eigenen Emissionen auszugleichen, werden anderswo NET-Anlagen finanziert, mit deren Hilfe die gleiche Menge CO₂ aus der Luft geholt wird. Unter dem Strich bleiben keine Emissionen mehr in der Atmosphäre. Voraussetzung ist hier allerdings, dass der Energieverbrauch des NET-Prozesses durch erneuerbare Energiequellen gedeckt wird.

Empfehlungen zur Integration von NET in die Schweizer Klimapolitik

In der vorliegenden Studie wird aufgezeigt, welche Starthilfen und Anpassungen notwendig sind, damit die NET in der Schweizer Klimapolitik ihr volles Potenzial entfalten können, gleichzeitig aber die damit einhergehenden Risiken vermieden werden. Dazu gehören die Entwicklung von Regelungen, Standards oder Grenzwerten sowie das Festlegen von klaren Zielen.

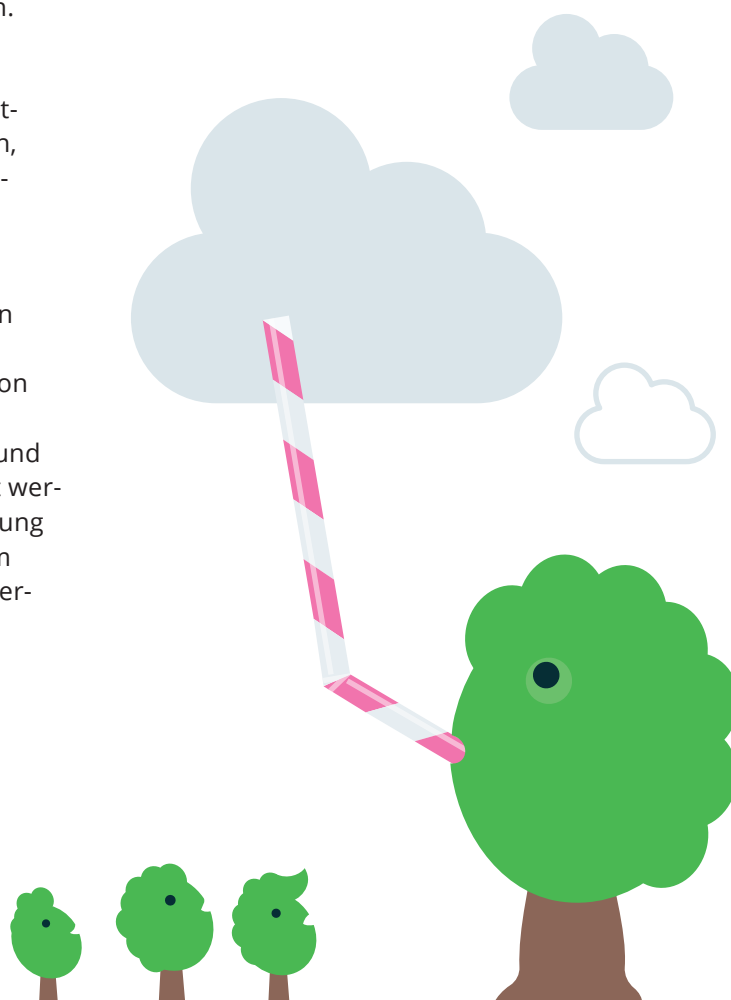
NET durch CO₂-Abgaben finanzieren: Bei ihrem derzeitigen Entwicklungsstand liegen die Kosten für die technisch aufwändigen NET-Methoden deutlich über den aktuellen CO₂-Preisen im europäischen Emissionshandelssystem (70 – 90 US\$/t CO₂). Durch die Verwendung von EHS-Einnahmen sowie durch zusätzliche oder erhöhte Treibhausabgaben könnten die Entwicklung und die Umsetzung von NET subventionieren werden. Diese Massnahme würde Unternehmen oder Privatpersonen einen festen Ertrag für jede Tonne CO₂ garantieren, die über einen bestimmten Zeitraum nachweislich aus der Atmosphäre entfernt wird. Diese Subvention könnte im Zuge des Ausbaus der schweizerischen Nettokapazität schrittweise reduziert werden.

Einen NET-Markt schaffen: Der Bund soll Anreize zur Nutzung von Anlagen zur CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre (BECCS) schaffen, z. B. durch einen separaten Markt für die Entnahme und Speicherung von CO₂.

Bewertungsrahmen etablieren und die Anrechnungsmetrik harmonisieren: Neben einem NET-übergreifend einheitlichen Prozess für die Zertifizierung und Anrechnung von Negativemissionen müssen auch spezifische Monitoringmethoden für die einzelnen NET und für den Betrieb von DACCS-Anlagen etabliert werden. Die Berechnung der CO₂-Abscheideleistung der jeweiligen NET, z. B. von carbonatisiertem Abbruchbeton, soll gemäss zuverlässigen internationalen Richtlinien erfolgen.

Kooperation mit dem Ausland: Für die Minderung des Treibhauseffekts ist unerheblich, an welchem Ort das CO₂ der Atmosphäre entzogen wird. Da in der Schweiz gewisse natürliche Ressourcen wie Böden oder geologische Speicher begrenzt sind, macht es praktisch und ökonomisch Sinn, sich am Aufbau von DACCS-Anlagen an Orten zu beteiligen, wo erneuerbare Energiequellen und geologische CO₂-Lagerstätten ausreichend vorhanden sind. Im Sinne einer globalen Klimagerechtigkeit braucht es für solche Kooperationen mit dem Ausland vertragliche Rahmenbedingungen auf UN-Ebene. Diese müssen dafür sorgen, dass Lasten und Nutzen fair zwischen den teilnehmenden Ländern verteilt sind und Klimaschutzprojekte zertifiziert und länderübergreifend transparent angerechnet werden.

Falsche Anreize unterbinden: Getrennte Ziele für die Reduktion der Emissionen und NET sollen dafür sorgen, dass Massnahmen zur Emissionsvermeidung weiterhin Priorität haben und NET nur für das Auffangen einer begrenzten Menge schwer vermeidbarer Treibhausgasemissionen vor allem aus der Landwirtschaft und einigen Industriezweigen eingesetzt werden.



Ressourcennutzung: Wechselwirkungen und Zielkonflikte

Wie die Steckbriefe (Seiten 7–12) zeigen, sind die verschiedenen NET-Ansätze nicht gleichwertig, weder in Bezug auf ihren Entwicklungsstand, ihr Senkenpotenzial noch auf die damit verbundenen Chancen und Risiken. So sind die Kosten bei naturbasierten Varianten wie dem Waldmanagement überschaubar, dafür beanspruchen diese NET viel Boden, und das CO₂ wird der Atmosphäre nicht dauerhaft entzogen: Wenn Bäume sterben, Holz verrottet oder verbrannt wird, entweicht es wieder. Viel dauerhafter fixiert wird der Kohlenstoff beim Verbrennen von Biomasse in BECCS-Anlagen, wo das freigesetzte CO₂ abgefangen und tief unter der Erde gespeichert wird. Doch dieser High-Tech-Ansatz ist mit hohen Infrastrukturkosten verbunden und beansprucht ebenfalls viel Biomasse.

Zwischen den einzelnen NET bestehen potenziell also Zielkonflikte. Dazu gehören zum Beispiel:

Konkurrenz um Landfläche und Biomasse

Waldmanagement und Holzverwendung, Bodenmanagement und BECCS benötigen Landflächen für den Anbau von Biomasse. Land wird ebenfalls gebraucht, wenn Kohlenstoff in Form von Pflanzkohle unter den Boden gepflügt oder als carbonatisiertes Gesteinspulver in der Landschaft ausgebracht wird. Und schliesslich beanspruchen auch der Bau der industriellen Infrastrukturen für BECCS-, Carbonatisierungs- und DACCS-Anlagen sowie die CO₂-Transportpipelines Land. Damit können NET in Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion treten oder mit den Nachhaltigkeitszielen anderer Industriezweige, die fossil basierte Materialien durch biobasierte Ressourcen ersetzen wollen. Ausserdem kann die steigende Nachfrage nach Anbaubiomasse zu einem Verlust von Lebensräumen und Biodiversität führen.

Konkurrenz um Wasser

Alle NET – und insbesondere BECCS – sind direkt oder indirekt von Wasser abhängig. Aber auch Stromversorgung, Landwirtschaft und Industrie sind auf Wasser angewiesen – dies in einem geographischen Umfeld, das aufgrund des Klimawandels immer trockener wird.

Konkurrenz um erneuerbare Energien

DACCS und die beschleunigte Gesteinsverwitterung benötigen viel Energie. Dieser Bedarf kann nur durch erneuerbare Quellen sinnvoll gedeckt werden – doch die Konkurrenz um grünen Strom ist gross.

Empfehlungen zur Ressourcennutzung

Da verschiedene Stakeholder auf die Nutzung begrenzter Ressourcen wie Biomasse, Wasser, Boden oder erneuerbare Energien angewiesen sind, muss eine konsistente übergreifende Strategie mit genau definierten Zielen, Prioritäten, Grenzwerten und Richtlinien zur Ressourcennutzung erarbeitet werden. Sie soll die Potenziale und die Verfügbarkeiten ermitteln, mögliche Entwicklungen und Trends berücksichtigen und die notwendige Priorisierung des Zugangs bei Ressourcenknappheit klären. Im erweiterten Sinn gilt dies auch für Ressourcen wie kritische Rohstoffe, Finanzen, Fachkräfte und Knowhow, die zur Realisierung der Schweizer Nachhaltigkeitsziele benötigt werden.

Zudem sollten ein Konzept und Kriterien für Projekte von nationalem Interesse entwickelt werden, die ein beschleunigtes Bewilligungsverfahren unter Einbezug anderer Interessen ermöglichen.

Synergien und Nutzungskaskaden

Es gibt aber auch eine ganze Reihe von Synergien zwischen einzelnen NET oder zwischen NET und anderen Industriesektoren, die sich zum Vorteil des Klimaschutzes nutzen lassen.

- Mit der Agroforstwirtschaft kombiniert könnte Wald- und Bodenmanagement den Flächenbedarf für diese NET optimieren.
- Beim nachhaltigen Waldmanagement wird Holz gezielt geerntet und über mehrere Etappen hinweg möglichst effizient genutzt, um den Kohlenstoff so lange wie möglich aus der Atmosphäre fernzuhalten: Zu dieser Nutzungskaskade gehört, dass in einem gesunden Wald das CO₂ zunächst einige Jahrzehnte in den Bäumen gespeichert und danach zu möglichst langlebigen Produkten, z. B. Dachstühlen, Holzhäusern oder Möbeln verarbeitet wird. Am Ende der Nutzungsdauer kann das Altholz in BECCS-Anlagen verbrannt werden, um Energie zu gewinnen und das CO₂ abzuscheiden und zu speichern. Unbehandeltes Holz kann auch zur Herstellung von chemisch stabiler Pflanzenkohle dienen. In beiden Fällen bleibt der Kohlenstoff über längere Zeiträume gebunden.
- Am Kamin oder direkt aus der Atmosphäre abgeschiedenes CO₂ lässt sich für die Carbonatisierung von Abbruchbeton einsetzen. Das spricht dafür, Abscheidungsanlagen in der Nähe von Anlagen zur beschleunigten Verwitterung von Abbruchbeton zu bauen, um Transportwege zu minimieren.
- Für den Transport und die Speicherung von verdichtetem CO₂ aus den Abscheidungsanlagen sind gemeinsame Transport- und Speicherinfrastrukturen denkbar. Mittels Carbonatisierung von Abbruchbeton oder durch das Finden von geeigneten Speicherstätten könnte das abgeschiedene CO₂ teilweise auch im Inland gespeichert werden.

Empfehlungen zur Nutzung von Synergien

Da verschiedene NET erst am Beginn ihrer Markteinführung stehen, ist es wichtig, solche Synergien systematisch zu nutzen, um mit den vorhandenen Ressourcen möglichst effizient umzugehen. Dies bedingt eine vorausschauende Koordination und Planung, an der alle betroffenen Akteure, d.h. Bund, Kantone und die Industrie, teilnehmen sollten, beispielsweise mittels runder Tische.



Eine unverzichtbare Ergänzung, kein Ersatz

Noch sind alle NET mit technischen, ökonomischen, gesellschaftlichen und politischen Fragezeichen verbunden. Noch ist nicht sicher, ob sie bis im Jahr 2050 den erwarteten Beitrag zum Netto-Null-Ziel leisten können. Das hat nicht nur damit zu tun, dass keine dieser Technologien völlig risikofrei ist. Es hängt auch damit zusammen, dass geeignete Anreizsysteme, Rahmenbedingungen und politische Instrumente grösstenteils erst noch erarbeitet und implementiert werden müssen.

Empfehlungen zum Implementierungsrahmen

Damit NET in der Schweiz den angestrebten Ausgleich von schwer vermeidbaren Emissionen erbringen können, sind gemäss der Studie folgende Schritte wichtig:

Chancen und Risiken verstehen und adressieren: Bei den meisten NET besteht weiterer Forschungsbedarf, um die Verfahren zu verbessern, zu verbilligen und zu skalieren. Das Wissen über Abscheidungs- oder Speicherpotenziale, Umweltfolgen, Synergien und Kosten muss systematisch vertieft und Risiken analysiert werden, um die Risiken durch eine adäquate Regulierung (Monitoring, Grenzwerte, Haftung etc.) möglichst umfassend minimieren zu können.

Entwicklung und Umsetzung fördern: Eine ganze Palette von politischen Instrumenten (Forschungsförderung, Subventionen für Investition und Betrieb, Standards etc.) ist notwendig, um die Anwendung der NET zu beschleunigen, dadurch technologisches Lernen zu ermöglichen, die Kosten zu senken und die NET mittelfristig zur Marktreife zu führen. Wichtig ist neben der Entwicklung der einzelnen Prozessschritte auch, dass das Zusammenwirken aller Prozesse in der gesamten Prozesskette einschliesslich Infrastruktur und Logistik erprobt und optimiert wird. Dies könnte vor allem durch ein systematisches und partizipatives Learning-by-Doing im Rahmen der zunehmenden Nutzung der NET erfolgen.

Den richtigen Swiss-Mix finden: Keine der untersuchten NET ist ein Allheilmittel, das alle schwer vermeidbaren Emissionen der Schweiz ausgleichen könnte. Falls das Entnahmepotenzial tatsächlich erschlossen werden kann, sollte sich der erwartete Ausgleichsbedarf durch ein Portfolio von sich ergänzenden NET-Optionen aber decken lassen. Wichtig für die Umsetzung ist es also, die richtige Kombination von sich ergänzenden Technologien und Praktiken zu finden: den Swiss-Mix, der den nationalen Gegebenheiten Rechnung trägt.

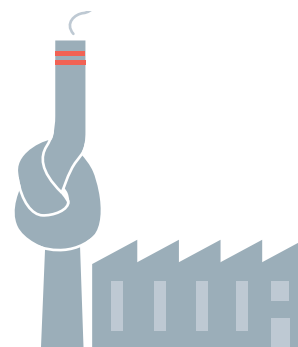
Kommunikation und Partizipation: Um in der Bevölkerung das Verständnis für die Rolle zu fördern, die NET in der Schweizer Klimapolitik spielen können, und um die gesellschaftliche Debatte auf einer sachlichen Grundlage zu führen, sollen die aktuellen Erkenntnisse einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht und Betroffene in die Dialogprozesse zur Weiterentwicklung und Nutzung der NET einbezogen werden.



Und zum Schluss

Zentral bleibt die Feststellung, dass NET die erforderlichen Anstrengungen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen nicht ersetzen können. Die Emissionsvermeidung muss weiterhin erste Priorität haben. Ob High- oder Low-Tech: NET sind keine Ausrede für ein «Weiter-wie-bisher». Dazu sind sie zu teuer und zu energieintensiv und sollten daher einzig für schwer vermeidbare Emissionen reserviert werden. Als Alternative zur Emissionsminderung taugen NET also nicht, wenn die Ziele des Pariser Klimaabkommens erreicht werden sollen. Als Ergänzung dazu sind sie hingegen praktisch unverzichtbar.

Warum unverzichtbar? Keine der betrachteten NET ist ohne Nebenwirkungen und somit bedenkenlos einsetzbar. Gleichzeitig bleibt die nüchterne oder vielmehr ernüchternde Erkenntnis: Verglichen mit den Risiken des Klimawandels, erscheint keines dieser Risiken so gross, dass von der Umsetzung dieser Technologien abgeraten werden müsste. Und genau deshalb ist es unumgänglich, die Vor- und Nachteile, Kosten und Folgen der unterschiedlichen Verfahren gegeneinander aufzuwiegen. Es gilt öffentlich zu verhandeln, welche Rolle ein schweizspezifischer Mix von NET in der Klimapolitik unseres Landes spielen soll. Es gilt gesellschaftlich auszuhandeln, wie viele Treibhausgasemissionen sich die Schweiz in Zukunft noch «leisten» will, wer für die Finanzierung der NET aufkommen soll und wie es nach 2050 weitergehen muss, wenn zur Stabilisierung des Klimas weitere Senkungen der Treibhausgase in der Atmosphäre erforderlich sind.



Mitglieder der Begleitgruppe

- Dr. Stefan Vannoni, Ökonom, CEO cemsuisse, Präsident der Begleitgruppe, Mitglied des Leitungsausschusses von TA-SWISS
- Dr. David Altwegg, Ökonom und Ingenieur, Mitglied des Leitungsausschusses von TA-SWISS
- Dr. Andreas Bachmann, Ethiker und Philosoph, Sekretariat Comité d'éthique, Bundesamt für Umwelt
- Prof. Dr. Pascal Boivin, Agronom, HEPIA
- Prof. Dr. Alfredo Bondolfi, Universität Genf, Mitglied des Leitungsausschusses von TA-SWISS
- Prof. Dr. Jacques Dubochet, Biophysiker, Nobelpreisträger in Chemie, Universität Lausanne, Mitglied des Leitungsausschusses von TA-SWISS
- Dr. Samuel Eberenz, Experte für Wetter- und Klimarisiken, Stiftung Risiko-Dialog
- Floris Heim, Experte Umweltverträglichkeitsprüfung, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Kanton Zürich
- Dr. Sonja Keel, Umweltwissenschaftlerin, Agroscope
- Dr. Selma L'Orange Seigo, Umweltpsychologin und Politikerin
- Dr. Urs Neu, Meteorologe, stv. Geschäftsleiter ProClim
- Dr. Otto Schäfer, Biolog und Ökotheologe
- Dr. Daniel Sutter, Chemiker, Climeworks
- Adèle Thorens, Ethikerin, Beraterin und Ständerrätin
- Dr. Esther Thürig, Naturwissenschaftlerin, Gruppenleiterin Waldressourcen und Waldmanagement, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft
- Dr. Sophie Wenger Hintz, Physikerin, Sektion Klimapolitik, Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Projektleitung bei TA-SWISS

- Dr. Elisabeth Ehrensperger, Geschäftsleiterin
- Dr. Bénédicte Bonnet-Eymard, Projektverantwortliche

Impressum

Aus der Luft gegriffen: CO₂ einfangen und speichern

Kurzfassung der Studie «Chancen und Risiken von Methoden zur CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre und Speicherung. Empfehlungen aufgrund der Analyse des Wissensstandes und einer systematischen Befragung von Fachleuten in der Schweiz»

TA-SWISS, Bern 2023

TA 80A/2023

Autorin: Christine D'Anna-Huber, cdh Wissenschaft im Text, Paradiso

Produktion: Bénédicte Bonnet-Eymard und Fabian Schluep, TA-SWISS, Bern

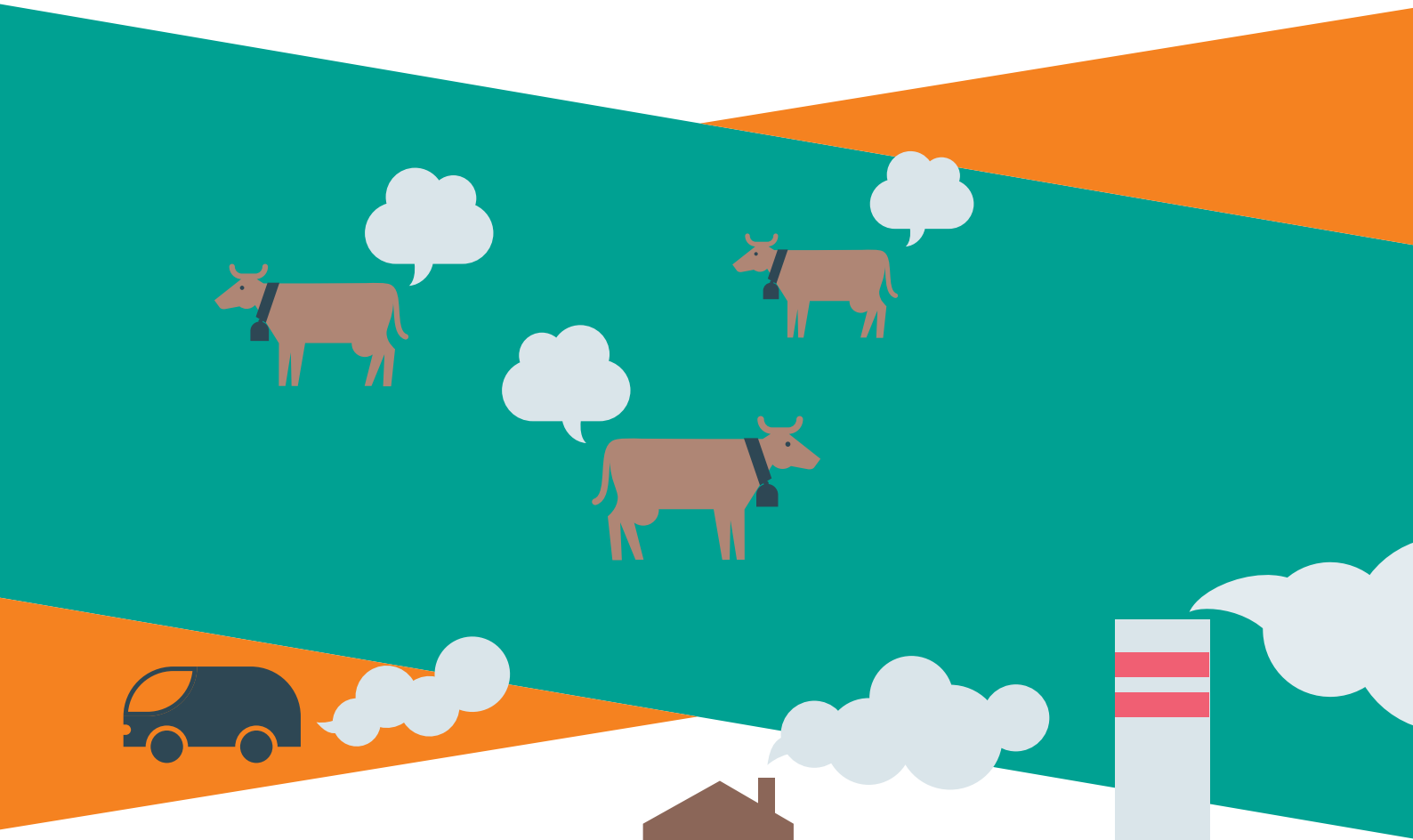
Gestaltung und Illustrationen: Hannes Saxer, Bern

Druck: Jordi AG – Das Medienhaus, Belp

TA-SWISS – Stiftung für Technologiefolgen-Abschätzung

Neue Technologien bieten oftmals entscheidende Verbesserungen für die Lebensqualität. Zugleich bergen sie mitunter aber auch neuartige Risiken, deren Folgen sich nicht immer von vornherein absehen lassen. Die Stiftung für Technologiefolgen-Abschätzung TA-SWISS untersucht die Chancen und Risiken neuer technologischer Entwicklungen in den Bereichen «Biotechnologie und Medizin», «Digitalisierung und Gesellschaft» und «Energie und Klima». Ihre Studien richten sich sowohl an die Entscheidungstragenden in Politik und Wirtschaft als auch an die breite Öffentlichkeit. Ausserdem fördert TA-SWISS den Informations- und Meinungsaustausch zwischen Fachleuten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und der breiten Bevölkerung durch Mitwirkungsverfahren. Die Studien von TA-SWISS sollen möglichst sachliche, unabhängige und breit abgestützte Informationen zu den Chancen und Risiken neuer Technologien vermitteln. Deshalb werden sie in Absprache mit themenspezifisch zusammengesetzten Expertengruppen erarbeitet. Durch die Fachkompetenz ihrer Mitglieder decken diese Begleitgruppen eine breite Palette von Aspekten der untersuchten Thematik ab.

Die Stiftung TA-SWISS ist ein Kompetenzzentrum der Akademien der Wissenschaften Schweiz.



TA-SWISS
Stiftung für Technologiefolgen-Abschätzung
Brunngasse 36
CH-3011 Bern
info@ta-swiss.ch
www.ta-swiss.ch

mitglied der
 akademien der
wissenschaften schweiz

