

PROCLIM

SCHWEIZER ZEITSCHRIFT ZU KLIMA UND GLOBALEM WANDEL

NR.
2025

81

FLASH



ENTNAHME UND SPEICHERUNG VON CO₂

Aktueller Stand und Potenzial neuer Methoden

CO₂ ENTFERNEN:
WIE WEIT SIND WIR?

8

NEUE TECHNOLOGIEN BRAU-
CHEN GESETZLICHEN RAHMEN

10

WARNSYSTEM
FÜR TROCKENHEIT

20

03

STANDPUNKT

03 Mensch, Erde! Das Klima im Wandel

04

IM FOKUS:

ENTNAHME UND SPEICHERUNG VON CO₂

- 04 Ein vielseitiges Puzzleteil im Klimaschutz
- 08 CO₂ entfernen, abscheiden und speichern: Wie weit sind wir?
- 10 Neue Technologien brauchen einen gesetzlichen Rahmen
- 12 CO₂ im Untergrund einlagern – zwischen Machbarkeit und Akzeptanz
- 14 Mehr CO₂ der Atmosphäre entziehen!

16

NEUES VON PROCLIM

16 News/Agenda

18

ZUM KLIMAWANDEL

- 18 «Eine Investition in unsere Zukunft»
- 20 Bund lanciert Warnsystem für Trockenheit
- 22 Wie die Schweiz das Klima beobachtet: ein Inventar
- 24 Bilder einer lebenswerten Zukunft
- 27 Nachhaltige Lösungen dank Interdisziplinarität

28

ZUM SCHLUSS

28 Apropos CO₂-Speicherung



FLASH 81 EN FRANÇAIS

Aufforstung oder klimaoptimierte Waldbewirtschaftung sind zwei konventionelle Methoden der CO₂-Entfernung.

Foto: Lian und Sander Baumann, Pixabay

Titelbild: Die «Orca plant» in Island des Unternehmens «Climeworks» entfernt CO₂ direkt aus der Luft, welches danach im Untergrund eingelagert wird.

Foto: Climeworks



MENSCH, ERDE! DAS KLIMA IM WANDEL

In dieser Ausgabe des ProClim Flash werden neue und alte Methoden, Kohlenstoff aus der Atmosphäre abzuscheiden oder zu entnehmen und es zu speichern oder weiterzuverwenden, von verschiedenen Perspektiven beleuchtet. Diese CO₂-Entnahme und -Speicherung im erdgeschichtlichen Kontext einordnen und verstehen lernen: Das kann man ab dem 24. Oktober auch im Naturhistorischen Museum Bern. Die neue Dauerausstellung «Mensch, Erde! Das Klima im Wandel» richtet sich an ein vielfältiges, breites Publikum und ist für Menschen ohne naturwissenschaftliches Vorwissen konzipiert. Sie macht ungewohnte Zusammenhänge sichtbar und schärft den Blick auf das Raumschiff Erde, mit dem wir seit Jahrmillionen unterwegs sind. Und die Ausstellung macht Mut: Es gibt zahlreiche Massnahmen, Innovationen und Visionen, mit denen wir der Klimakrise begegnen können.

In diesem Sinn wagt die Ausstellung ein assoziatives Nebeneinander von Zeiträumen, Erzählungen und Perspektiven, um Verbindungen spürbar zu machen. Sie will zum Nachdenken und Nachforschen anregen. Eines der behandelten Themen ist die Fähigkeit der Erde, CO₂ aus der Atmosphäre zu entfernen und es in sogenannten natürlichen Senken zu speichern. Hier haucht die Ausstellung abstrakten Begriffen wie «natürliche Senken» und «Netto-Null» Leben ein. Grosszügige Visualisierungen zeigen, wie Ozeane und intakte Feuchtgebiete Kohlenstoff im Boden versenken – und warum das wichtig ist: Natürliche Senken holen von jährlich rund 40 Gt ausgestossenem CO₂ etwa die Hälfte wieder aus der Luft. Das ist ein starker Gegenpol zu den medial inszenierten Maschinen, die der Luft technisch CO₂ entziehen. Diese künstliche Reduktion schafft nur einen Bruchteil dessen, was die Natur leistet – doch solche Bilder prägen das Bewusstsein stärker. Trotzdem: Jede Tonne zählt.

Mit der Lektüre dieser Ausgabe können Sie Ihr Wissen zum Thema CO₂-Entnahme und -Speicherung nach oder vor Ihrem Ausstellungsbesuch weiter vertiefen. Der Artikel «Ein vielseitiges Puzzlestück im Klimaschutz» (S. 4) schafft einen Überblick über die verschiedenen Begrifflichkeiten von CDR über BECCS bis hin zu NET. In diesem Magazin erfahren Sie ausserdem auch mehr zum aktuellen Stand (S. 8 und 12) und zu den gesetzlichen Rahmenbedingungen (S. 10) von CO₂-Entnahme und -Speicherung in der Schweiz sowie zu den potenziellen moralischen Herausforderungen dieser neuen Technologien (S. 14).

So wie auch die Beiträge in diesem Flash, laufen die Erzählstränge der Ausstellung auf eine Kernbotschaft hinaus: Wir müssen den CO₂-Ausstoss massiv senken – und gleichzeitig so viel wie möglich aus der Luft entfernen. Das Wissen und die Mittel sind vorhanden, für die Umsetzung braucht es einzig und allein unseren Willen. Ein Zitat von Klimaforscher Thomas Stocker unterstreicht dieses Mindset treffend: «Wenn die Menschheit will, kann sie. Wenn die Schweiz will, kann sie.»

Wir wünschen Ihnen eine bereichernde Lektüre und freuen uns auf spannende Diskussionen im Naturhistorischen Museum Bern. ■

*Dora Strahm (Ausstellungskuratorin) und
Ursula Menkveld (wissenschaftliche Kuratorin), Naturhistorisches Museum Bern*

VERSION FRANÇAISE



EIN VIELSEITIGES PUZZLETEIL IM KLIMASCHUTZ

Wer bei den Ansätzen zur CO₂-Entnahme den Überblick behalten will, braucht mehr als nur Abkürzungswissen. Dieser Artikel zeigt, wie Carbon Dioxide Removal und Co. zusammenspielen müssen, um Klimaziele zu erreichen – und warum es dafür Klarheit bei den Begrifflichkeiten, kluge Koordination und einen ganzheitlichen Blick braucht.

TEXT: SAMUEL EBERENZ, ZOÉ MEIER, NICOLAS SOLENTHALER, CYRIL BRUNNER

Einst ein Nischenthema, ist CO₂-Entnahme mittlerweile in Forschung und Politik als integrales Puzzleteil zur Erreichung der Klimaziele anerkannt. Die Methoden haben das Ziel, – CO₂ wieder aus der Luft zu holen (Carbon Dioxide Removal, CDR), – CO₂ gar nicht erst in die Luft gelangen zu lassen (Abscheidung von CO₂ direkt an Punktquellen mit anschliessender Speicherung – Carbon Capture and Storage, CCS), – eingefangenes CO₂ sinnvoll zu nutzen (Carbon Capture and Utilization, CCU).

Der Einsatz von CDR ist auf verschiedenen Ebenen komplex – angefangen bei den diversen Begrifflichkeiten. Wenn über CDR und die zahlreichen Methoden gesprochen wird, tauchen ähnliche Begriffe und Abkürzungen auf, deren Unterscheidung wichtig ist, um Missverständnisse oder Unschärfen zu vermeiden (Abb. 1).

Dabei ist es zentral, dass diese verschiedenen Ansätze an den richtigen Stellen des Gesamtbildes platziert werden, um komplementär und koordiniert zum Erreichen des Netto-Null-Ziels beizutragen – auch damit Reduktion und Entfernung von Treibhausgasen nicht gegeneinander ausgespielt werden.

KOMPLEMENTÄRE HEBEL IM KLIMASCHUTZ

Das Pariser Klimaabkommen sieht vor, die globale Erwärmung «deutlich unter» 2 °C im Vergleich zum vorindustriellen Temperaturniveau zu halten. Dazu ist es laut der jüngsten Bewertung des zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) entscheidend, neben substanziellen Reduktionen der Treibhausgasemissionen das Volumen von durch CDR-Methoden entferntem CO₂ zu erhöhen, um die verbleibenden Treibhausgasemissionen auszugleichen.¹ Bis heute sind die globalen Emissionen weiter angestiegen, ebenso entfernen wir uns von den mit dem Pariser Ziel kompatiblen Emissions-

pfaden. Während die Verringerung (und nicht die Beseitigung) von Treibhausgasemissionen das Hauptziel der internationalen Klimapolitik bleibt, wird in den nächsten Jahrzehnten die Entfernung von vielen Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr mit CDR-Methoden notwendig sein, um Netto-Null- und Netto-Negativ-Ziele zu erreichen.²

Diese Mengen können ohne gezielten Ausbau der CDR-Methoden nicht erreicht werden. Die EU-Kommission und Pionierländer der Klimapolitik (z. B. die nordischen Staaten, das Vereinigte Königreich und Deutschland) verstehen diese Problematik und führen zunehmend Diskussionen über geeignete politische Instrumente.³ Beispiele dafür sind umgekehrte Auktionen für Bioenergie mit Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (BECCS) in Schweden und Dänemark oder die Integration von CDR in das EU-Emissionshandelssystem (EU ETS).

CDR ALS TEIL DER SCHWEIZER KLIMASTRATEGIE

Auch die Schweiz hat sich verpflichtet, bis 2050 die Treibhausgasemissionen auf netto null zu senken. Mit der Schweizer Klimastrategie plant der Bund, bis 2050 jährlich 7 Mio. Tonnen CO₂ zu entfernen (S. 10). Das Klima- und Innovationsgesetz (KIG), angenommen im Juni 2023, legt fest, dass Emissionsreduktionen Priorität haben und CDR ergänzend eingesetzt wird. Die Strategie mahnt zur realistischen Einschätzung der CDR-Potenziale und zur konsequenten Emissionsvermeidung. So soll die Schweiz Verantwortung für ihre Emissionen übernehmen – viele Fragen zur konkreten Umsetzung bleiben jedoch offen und müssen in demokratischen Prozessen noch geklärt werden.

Auf diesem Weg gilt es, mögliche Fallstricke zu vermeiden, die mit einem raschen politischen Handeln in einem neuartigen, vielfältigen, dynamischen und technologischen Bereich einhergehen. Gerechte Lastenverteilung, Umweltintegrität, Öffentlichkeitsbeteiligung und Beratungsprozesse sind nur einige Beispiele für die vielen Dimensionen, die eine verantwortungsvolle CDR-Gouvernanz berücksichtigen muss.

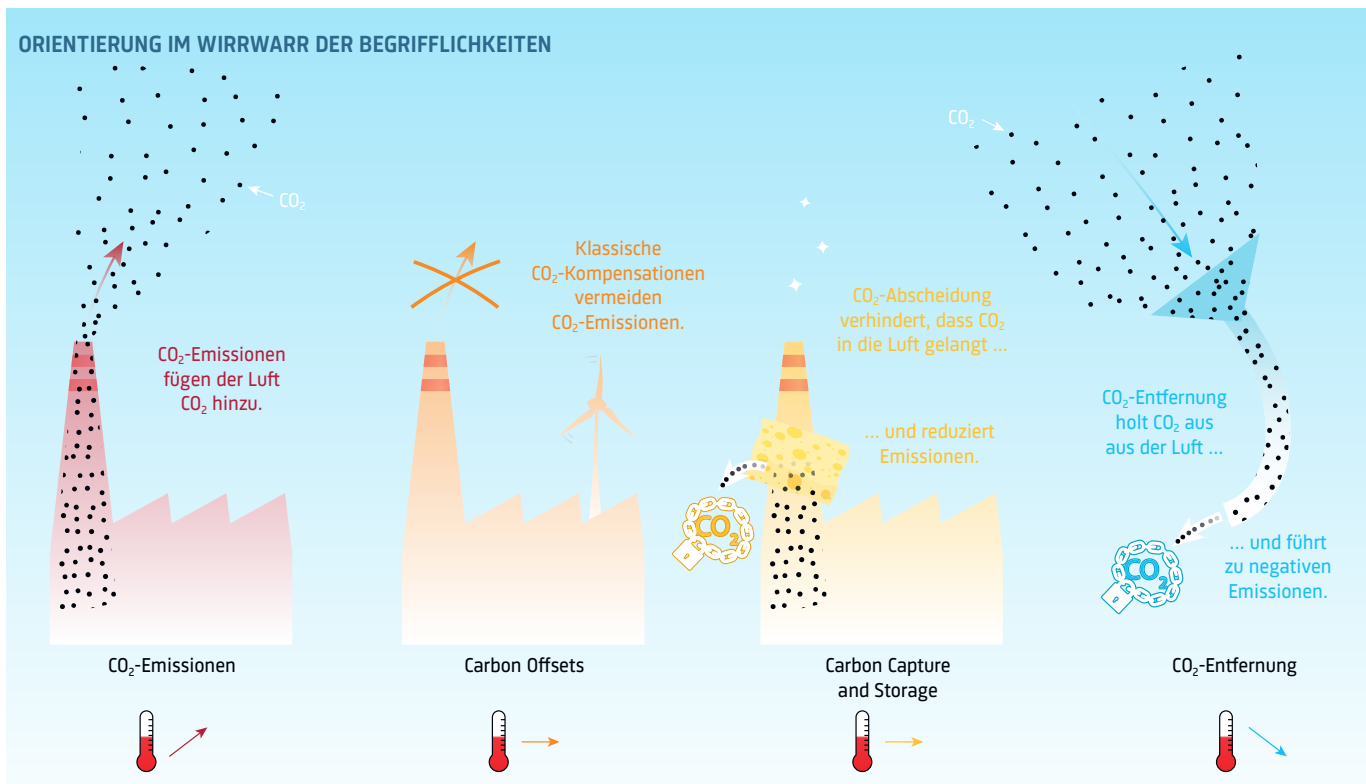


Abb. 1: Illustration der wichtigsten Konzepte rund um die CO₂-Entnahme - und ihren Einfluss auf die Klimaerwärmung. Quelle: Cyril Brunner (2025), ergänzt von carbon180 (2021)

GROSSES POTENZIAL, VIELE HERAUSFORDERUNGEN

CDR umfasst verschiedenste Methoden, um CO₂ aus der Atmosphäre zu entfernen und dauerhaft zu speichern. Beispielsweise können natürliche CO₂-Senken wie Wälder oder Moorlandschaften gestärkt werden, oder die Luft kann maschinell gefiltert und das CO₂ im Anschluss im Untergrund gespeichert werden. Möglich ist auch der vermehrte Einsatz von Baustoffen, die CO₂ binden. Die Bandbreite an Methoden ist gross (siehe Glossar S. 6).

Etablierte CDR-Methoden wie die Erhöhung der Senkenleistung von Wäldern entfernen bereits heute ca. 2 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr aus der Atmosphäre,⁴ stossen jedoch an Kapazitätsgrenzen und bergen wachsende Risiken. Zu diesen gehören etwa die durch die Erwärmung des Klimasystems zunehmenden Hitze- und Trockenheitsperioden und damit einhergehende Waldbrände. Neuartige CDR-Methoden könnten künftig in die Bresche springen, leisten heute jedoch erst einen vernachlässigbaren Beitrag.

Das Ausbaupotenzial bleibt unsicher, nicht zuletzt wegen der hohen Kosten und der Ressourcenintensität, welche die Skalierung innerhalb der planetaren Grenzen erschweren. Wichtig ist zudem, dass durch die Förderung und den Einsatz von CDR-Methoden die aktuellen Klimaziele der CO₂-Reduktion nicht vernachlässigt werden – beispielsweise dann, wenn öffentliche oder private Gelder zur Förderung erneuerbarer Energien fehlen. CDR ist somit ein unumgänglicher Hebel, um das Netto-Null-Ziel zu erreichen, steht aber noch vor einigen Herausforderungen. Das gleiche lässt sich auch über CCS und CCU sagen, die grosse Infrastrukturinvestitionen und Anpassung industrieller Prozesse bedingen. Für ein besseres Verständnis, welche Rolle die verschiedenen Ansätze im Klimaschutz spielen können und wo Synergien und Zielkonflikte beachtet werden sollten, lohnt es sich, genauer hinzuschauen.

BEWUSSTSEIN FÜR HERAUSFORDERUNGEN UND FALLSTRICKE

Auf wissenschaftlicher, technischer, ökonomischer und nicht zuletzt politischer Ebene warten einige Herausforderungen. Das zeigt etwa das Beispiel der Infrastruktur, die für CCS und BECCS nötig ist: Es macht keinen Sinn, CO₂ etwa an einer Kehrrichtsverbrennungsanlage (KVA) abzuscheiden, wenn dieses nicht transportiert und gespeichert werden kann – der Aufbau einer Transport- und Speicherinfrastruktur rentiert im Gegenzug aber nicht, solange kein CO₂ abgediebt wird (S. 10).

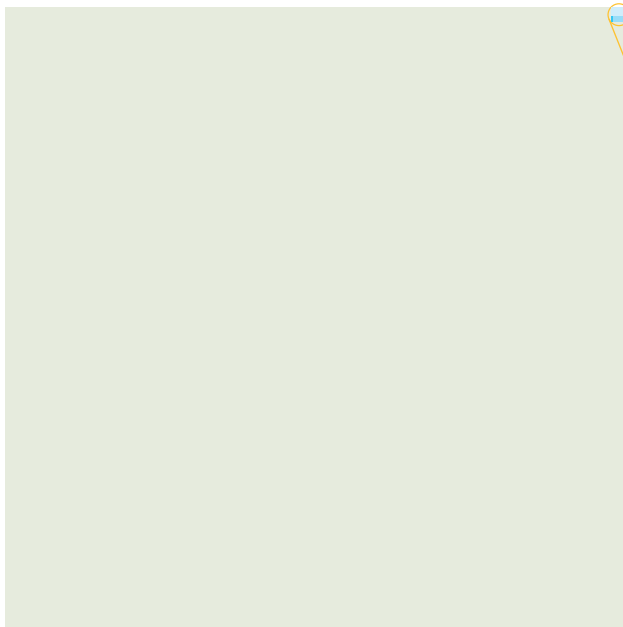
Solange CDR nur limitiert verfügbar und das Potenzial so unsicher ist, wie es derzeit ist, soll die Methode primär eingesetzt werden, um schwer vermeidbare Emissionen, etwa aus der Abfall- oder Landwirtschaft, wieder zu entfernen. CDR soll aber beispielsweise nicht als Ersatz für die Elektrifizierung einer Fahrzeugflotte dienen – dafür ist mittelfristig auch schlicht nicht das Potenzial vorhanden.

Eine mögliche Orientierungshilfe für eine effektive und nachhaltige Förderung von CDR bieten etwa Holland-Cunz und Baatz⁵, die auf relevante Dimensionen eingehen. Ihre Leitfragen zielen beispielsweise in Bezug auf die Machbarkeit auf administrative und finanzielle Ressourcen oder auf die Auswirkungen auf die Natur, etwa in Form von Beeinträchtigung einzelner Organismen, Arten und ganzen Ökosystemen.

Durch diese zahlreichen Aspekte wird klar: Der Umgang mit CDR ist kompliziert. Allerdings zeigen aktuelle Diskussionen, dass gegenüber den Herausforderungen ein grosses Bewusstsein herrscht.

CO₂-Entnahme: konventionelle versus neue Methoden

Total: 2,2 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr (2013–2022). Davon neue Methoden (blau): 0,0013 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr (2023)



- Konventionelle Methoden (Aufforstung, Landnutzungsänderung)
- Pflanzenkohle aus Pyrolyse und Biomasse (Biochar)
- Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung (BECCS)
- Beschleunigte Verwitterung (Enhanced Rock Weathering ERW)
- Weitere Methoden wie Direct Air Capture and Storage (DACS/DACCS)

Quelle: Petersen (2025)

DAS SCHWEIZER CDR-ÖKOSYSTEM


In der Schweiz sind viele Akteure aus verschiedenen Bereichen gut vernetzt und bemüht, die Komplexität des Themas und die entsprechenden Herausforderungen gemeinsam zu bewältigen. Daran beteiligt sind etwa die Swiss Carbon Removal Platform, der Innovation Booster Carbon Removal und die vom BAFU geleitete nationale Arbeitsgruppe CCS/NET. Solche Foren sind enorm wichtig, um die vielen Entwicklungen in dem Bereich zu beobachten und gleichzeitig sicherzustellen, dass die Schweiz als Wissenschafts- und Innovationsstandort in Form von Pilotprojekten und Infrastrukturinvestitionen einen substanziellen Beitrag zur notwendigen Transformation leistet. So könnte CDR in Zukunft so breit wie nötig eingesetzt werden – damit wir die Klimaziele gemeinsam erreichen. ■

Samuel Eberenz und **Zoé Meier** arbeiten bei der Stiftung Risiko-Dialog und der Swiss Carbon Removal Platform.

Nicolas Solenthaler arbeitete bis im Sommer ebenfalls bei der Stiftung Risiko-Dialog und der Swiss Carbon Removal Platform.

Cyril Brunner ist Dozent und Wissenschaftler an der ETH Zürich.

 **KONTAKT**
info@carbon-removal.ch

 **REFERENZEN**
proclim.ch/id/m34AR

VERSION FRANÇAISE



DIE WICHTIGSTEN BEGRIFFE

Carbon Dioxide Removal (CDR): Die Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre mit anschliessender dauerhafter Speicherung. Die verschiedenen CDR-Methoden (siehe erweitertes Glossar unter proclim.ch/id/m34AR) werden auch als Negativemissionstechnologien (NET) bezeichnet. Da dieser Begriff gesellschaftlich oft missverstanden wird, hat sich CDR durchgesetzt.

Carbon Capture and Storage (CCS): Der Prozess der CO₂-Abscheidung direkt an einer Emissionsquelle mit anschliessender Speicherung. Im Gegensatz zur CO₂-Entfernung wird bei der Abscheidung das CO₂ direkt bei der Quelle «eingefangen», bevor es in die Atmosphäre gelangt (vermeidene Emissionen).

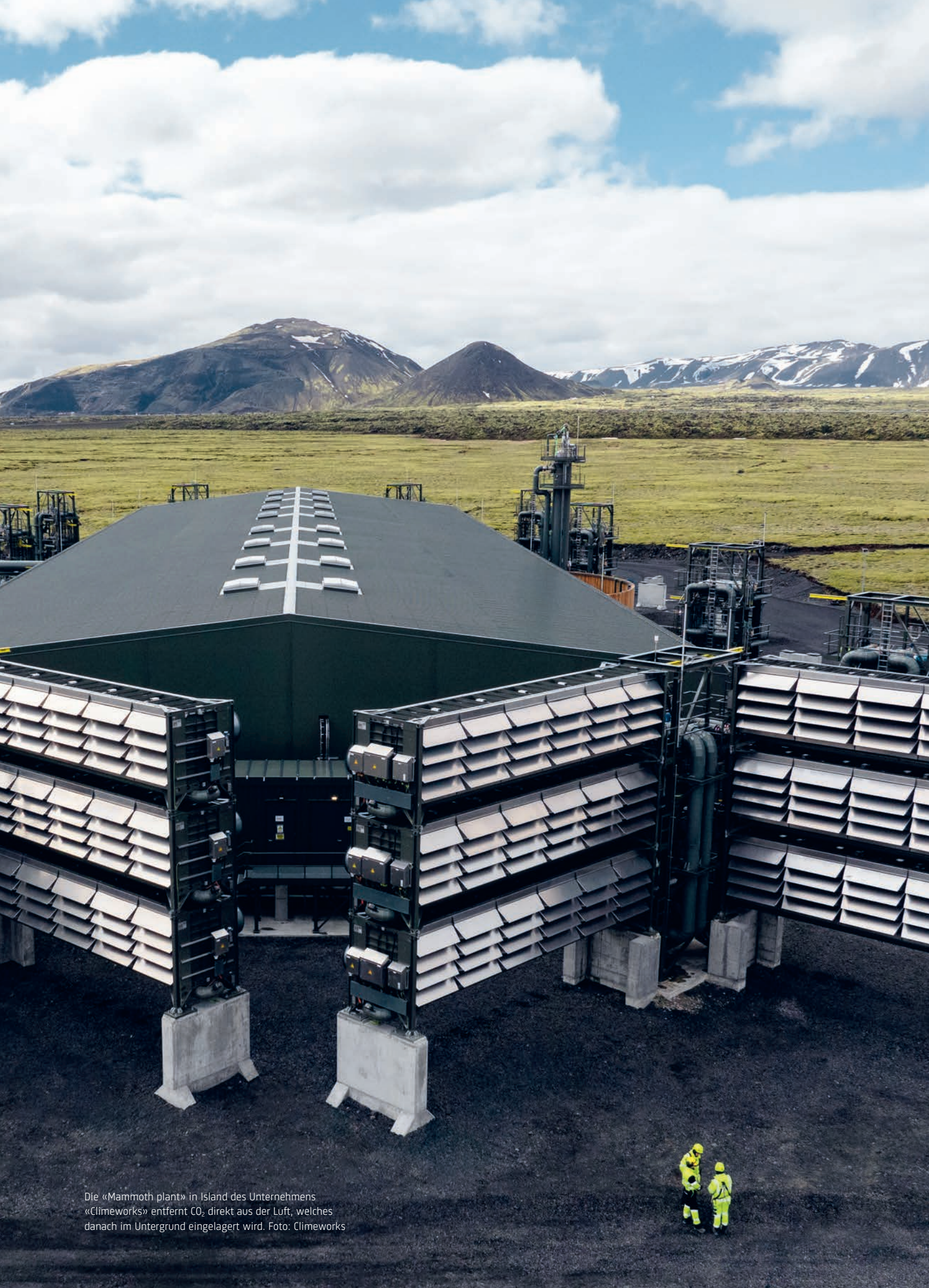
Carbon Capture and Utilization (CCU): Hier wird das an der Quelle abgeschiedene CO₂ in Produkten genutzt oder direkt weiterverwendet, etwa als Kohlensäure in Getränken oder zur Produktion von synthetischen Treibstoffen. Wird der Kohlenstoff dabei langfristig ausserhalb der Atmosphäre gespeichert (z. B. in langlebigen Baumaterialien wie Recycling-Beton) spricht man von CCU mit Speicherung (CCUS).

CO₂-Entnahme und -Speicherung: Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) verwendet diesen Ausdruck als Überbegriff für CDR, CCS und CCUS.

Dekarbonisierung oder Entkarbonisierung: Bezeichnet die komplexen Prozesse der Umstellung einer Wirtschaftsweise, speziell die der Energiewirtschaft und Mobilität, in Richtung eines niedrigeren Umsatzes von Kohlenstoff.

Defossilierung: Sammelbegriff für die Substitution von kohlenstoffhaltigen Rohstoffen fossilen Ursprungs (z. B. Torf, Kohle, Erdöl, Erdgas) durch erneuerbare Rohstoffe zur Reduktion von Treibhausgasemissionen. Im Gegensatz zur Dekarbonisierung geht es hier nicht um eine generelle Reduktion des Einsatzes von Kohlenstoff, weshalb CCU und CCUS in der Defossilierung eine grössere Rolle spielen können.

CO₂-Kompensation: Verrechnen verursachter CO₂-Emissionen durch Reduktion oder Vermeidung von CO₂-Emissionen an anderer Stelle (z. B. durch den Einsatz erneuerbarer Energien oder den Schutz von Waldflächen). Im Gegensatz zu CDR wird dabei die Treibhausgasmenge in der Atmosphäre nicht verringert.



Die «Mammoth plant» in Island des Unternehmens «Climeworks» entfernt CO₂ direkt aus der Luft, welches danach im Untergrund eingelagert wird. Foto: Climeworks

CO₂ ENTFERNEN, ABSCHIEDEN UND SPEICHERN: WIE WEIT SIND WIR?

Die Schweiz treibt die CO₂-Entfernung und die CO₂-Abscheidung und -Speicherung als Teil ihrer Klimastrategie voran. Die Planung entsprechender Infrastrukturen und die Erarbeitung von Rahmenbedingungen sind im Gang, zentrale Fragen bleiben jedoch noch offen.

TEXT: CYRIL BRUNNER

M

it dem Klima- und Innovationsgesetz (KIG) hat die Schweiz 2023 die ersten gesetzlichen Pfeiler zum Erreichen des Netto-Null-Ziels und damit auch für die CO₂-Entfernung (CDR) und der CO₂-Abscheidung und -Speicherung (CCS) gesetzt. Eine erste Abschätzung zum benötigten Umfang von CDR und CCS lieferten die Energieperspektiven 2050+ des Bundes¹ (5 Mio. t (Mt) CO₂ fossiles CCS sowie 7 Mio. t CO₂ CDR im Jahr 2050, davon 2 Mio. t in der Schweiz; S. 10). Seit 2022 zeigt die Roadmap des Bundesrats² Massnahmen und Voraussetzungen auf, unter denen CDR und CCS im erforderlichen Umfang bis 2050 ausgebaut werden können.

CCS: GLOBALER STAND

Anfang 2025 waren weltweit rund 50 Mt CO₂-Abscheidungs- und Speicherkapazitäten in Betrieb. Darunter waren von Anfang an erfolgreiche Projekte, aber auch einige mit Startschwierigkeiten. Bei einigen konnte beispielsweise die angestrebte Injektionsrate nicht oder erst nach mehreren Monaten erzielt werden. Im Sommer 2025 hat die EU im Rahmen des Net-Zero-Industry-Act Öl- und Gasproduzenten verpflichtet, geologische Speicherkapazitäten von insgesamt 50 Mt CO₂/Jahr bis 2030 bereitzustellen. Der EU-Bedarf bis 2050 wird auf 400 bis 500 Mt CO₂/Jahr geschätzt.³ Die Verpflichtung ist eine wichtige Massnahme, denn solange keine Speichermöglichkeiten vorhanden sind, ist die Hürde gross, eine CO₂-Abscheidung zu installieren (und umgekehrt).

CDR: GLOBALER STAND

Global gibt es viele CDR-Methoden, wobei deren Eigenschaften, Vorteile und Herausforderungen variieren (Abb.). Es gibt keine perfekte Lösung. Die hauptsächlich durch Aufforstung erzielte CO₂-Entfernung lag 2023 global bei 2,2 Gt CO₂/Jahr.⁴ Nur 0,0013 Gt CO₂/Jahr trugen neuartige Methoden dazu bei, insbesondere Pflanzenkohle und Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung (BECCS).⁴ Die Nachfrage für CDR stammte fast ausschliesslich aus dem freiwilligen Kohlenstoffmarkt.

Die meisten globalen Pfade, mit denen die Erwärmung nahe 1,5 °C begrenzt werden soll, sehen im Jahr 2050 CDR im Umfang zwischen 7 und 9 Gt CO₂ vor.⁴ Allerdings sind heute günstigere Methoden zur CO₂-Entfernung tendenziell nicht ausreichend ausbaubar und speichern das CO₂ oft nur vorübergehend. Skalierbare, ausreichend dauerhafte Methoden sind heute vergleichsweise teuer und nur in kleinsten Mengen verfügbar.

Es stellt sich die Frage, wie die nachhaltige Skalierung angeregt und unterstützt werden kann. Heute verbreitete Mechanismen, die einzig auf die aktuell tiefsten Kosten fokussieren, verfehlen das langfristige Ziel. Zudem ist offen, welche der jungen Methoden nicht nur theoretisch, sondern auch in der Realität bis 2050 auf eine klimarelevante Grösse ausgebaut werden können. Die Situation erinnert an den Status der Solarzellen in den 1980er-Jahren. Die nächsten fünf bis zehn Jahre dürften Klarheit schaffen.

DAS MACHT DIE SCHWEIZ

In der Schweiz umfasst das bereits angewendete CDR die beschleunigte Karbonatisierung von Recyclingbeton, die Herstellung und Speicherung von Pflanzenkohle, Hydrokohle und Makroalgen sowie die nachhaltige Forstwirtschaft. Bei letzterer wird derzeit auch die natürliche CO₂-Senkenleistung angerechnet und nicht bloss jene, die durch menschliche Tätigkeiten bewirkt wird. Dies ist bei der Rapportierung der Treibhausgasemissionen gemäss den Richtlinien des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) üblich, aber methodisch inkonsistent mit dem wissenschaftlichen Netto-Null-Konzept.^{5,6}

In der Schweiz soll CCS nicht für fossile Kraftwerke, sondern ausschliesslich für geeignete, schwer vermeidbare Industrieemissionen (z. B. Abfallverbrennung, Zementherstellung) genutzt werden sowie zur Aufrechterhaltung der CO₂-Entfernung durch Biomasse trotz deren energetischen Nutzung. Entsprechend scheint CCS weniger umstritten als in einigen anderen Staaten. Erste BECCS-Anlagen entstehen bei der Klärschlammverwertungsanlage Werdhölzli (20 kt CO₂/Jahr) und bei der Biogasanlage in Niederwil (4,3 kt CO₂/Jahr). Während die Abscheidung von CO₂ in der Schweiz etwa im Rahmen von Biogasaufbereitungsanlagen bereits seit Jahren an-

Die CO₂-Entfernung (CDR)

	(Wieder-)Aufforstung und Waldbewirtschaftung	Bodenkohlenstoffaufbau	Speicherung von Pyrolyseöl	BECCS	Carbonatisierung von Zementstein im Beton	Renaturierung von Blauem Kohlenstoff	Versenkung von Biomasse im Ozean	Direct Ocean Capture
Methode zur CO ₂ -Entfernung	Wiederherstellung Moore/Feuchtgebiete	Speicherung von Pflanzenkohle	DACS	Beschleunigte Verwitterung	Vergraben von Holz und Biomasse	Ozeandüngung	Erhöhung des Alkaligehalts der Ozeane	
Dauerhaftigkeit	-	-	0	+	+	+	+	+
Reife	+	+	0	0	0	-	-	-
Potenzial (GtCO ₂ /Jahr)	2,2	0,5-2,1	0,6-9,3	0,3-6,6	-	5-40	0,5-11	2-4
Messbarkeit	0	0	-	0	+	+	+	-
Platzanspruch	-	-	0	-	+	+	+	+
Energiebedarf	0	0	0	+	+	-	+	-
Preis (USD/tCO ₂) im 2024	10-50	?	0-80	165	510	490	227	360
Vermutliche Kostenentwicklung	→	?	?	→	→	→	→	→

Übersicht über das Portfolio aller CDR Methoden. DACS bezeichnet Direct Air Capture and Storage, BECCS bezeichnet Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung und DOC Direct Ocean Capture. Quelle: Synthese von Cyril Brunner

gewendet wird, ist die Infrastruktur für den Transport lokal begrenzt und die Speicherung eine logistische Herausforderung.

IN DER SCHWEIZ UND IM AUSLAND SPEICHERN

Offen ist, wie viel abgeschiedenes CO₂ künftig in der Schweiz und im Ausland gespeichert werden soll. Nebst der Carbonatisierung im Recyclingbeton ist die geologische Speicherung eine der dauerhaftesten Methoden. Aktuelle Potenzialschätzungen liegen bei 2000 Mt CO₂ im Inland, genug für rund 200 Jahre. Diese Abschätzungen sind jedoch sehr grob und müssen verfeinert und bestätigt werden. Unter der Leitung der ETH Zürich soll in einem nächsten Schritt das Pilot- und Demonstrationsprojekt CITru (S. 12) durchgeführt werden, das eine CO₂-Pilotinjektion von bis zu 10 kt CO₂ in Trüllikon (ZH) vorsieht. Gleichzeitig treibt der Bund die Nutzung von geologischen Speichern im Ausland voran (S. 10). International, transnational und national fehlen oft noch gesetzliche Rahmenbedingungen für diesen Transfer und die CO₂-Speicherung.


AKTUELLE HERAUSFORDERUNGEN IN DER SCHWEIZ


Es gibt noch einige offene Fragen. Wie lässt sich beispielsweise die Schweizer Bevölkerung auf diesen Weg mitnehmen? Das Wissen über die neuen Konzepte ist wenig verbreitet. Zudem ist die CO₂-Entfernung in mehreren Punkten auch kontraintuitiv. Alleine der oft verwendete Begriff Negativemissionstechnologien wird von Laien häufig als etwas Negatives erachtet. Im Englischen hat sich daher der Begriff Carbon Dioxide Removal (CDR) durchgesetzt. 70% der CDR müssten zudem gemäss Bundesrat im Ausland realisiert werden – wie und wo ist derzeit noch offen. Es wäre vermutlich möglich, mehr in der Schweiz zu realisieren. Dazu müssten jedoch entsprechende Ansätze jetzt von irgendjemandem erprobt und verfolgt werden. CCS und CDR sind die teuersten Elemente

einer wirkungsvollen Klimastrategie. Wie sie in der Schweiz künftig finanziert werden sollen, ist unklar. Der Bundesrat und Art. 74 der Bundesverfassung sehen vor, dass sowohl CDR als auch CCS möglichst verursachergerecht finanziert werden sollen. Das könnte dem Emittieren von CO₂ einen realen Preis geben, was die – in vielen Fällen günstigere – Emissionsreduktion fördert.

Die Schweiz hat den Pfad zum Netto-Null-Ziel eingeschlagen – CDR und CCS sind unerlässliche Elemente davon. Ob sie den Erwartungen gerecht werden, entscheidet sich in den kommenden Jahren. Nötig sind vorausschauende politische Entscheide, nachhaltige Investitionen und breite gesellschaftliche Unterstützung. ■

Cyril Brunner ist Dozent und Wissenschaftler an der ETH Zürich im Bereich Klimaphysik (Institut für Atmosphären- und Klimawissenschaften) und Projektleiter des Projekts SPEED2ZERO.

 KONTAKT
cyril.brunner@env.ethz.ch

 REFERENZEN
proclim.ch/id/4t2mZ



HOSTED: BUNDESAMT FÜR UMWELT (BAFU)

NEUE TECHNOLOGIEN BRAUCHEN EINEN GESETZLICHEN RAHMEN

Die Schweiz hat sich dazu verpflichtet ihren Ausstoss von Treibhausgasen bis 2050 auf netto null zu senken. Für schwer vermeidbare Emissionen braucht es die CO₂-Entnahme und -Speicherung. Für ihren Aufbau sind rechtliche Rahmenbedingungen notwendig, welche die Regeln für die nötige Infrastruktur harmonisieren und Investitionssicherheit schaffen.

TEXT: MARTIN JISKRA

Die Ausgangslage ist klar: Das Klima- und Innovationsgesetz schreibt vor, dass die Treibhausgasemissionen der Schweiz bis 2050 auf netto null sinken müssen. Gebäude und Verkehr sollen bis 2050 komplett emissionsfrei werden. Das ist technisch möglich, insbesondere durch den Einsatz von erneuerbaren Energien und Elektrofahrzeugen. In Bereichen wie der Zementherstellung, der Abfallverwertung, der Landwirtschaft und der Luftfahrt lassen sich Treibhausgasemissionen hingegen nicht vollständig vermeiden.

Diese schwer vermeidbaren Emissionen umfassen gemäss Schätzungen des Bundes rund einen Viertel der aktuellen Emissionen der Schweiz, also ca. 12 bis 14 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr.¹ Um sie zu reduzieren oder auszugleichen, ist die CO₂-Entnahme und -Speicherung notwendig. Dabei wird zwischen zwei Kategorien unterschieden: Falls möglich, muss fossiles und prozessbedingtes CO₂ bereits an Anlagen, wo es austritt (z.B. Kamine), abgeschieden und gespeichert werden. So wird der Ausstoss direkt vermindert (Carbon Capture and Storage, CCS). Ausgestossene Emissionen müssen durch die Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre und dauerhafte Speicherung, sogenannte Negativemissionstechnologien (NET oder engl. Carbon Dioxide Removal, CDR), ausgeglichen werden.

VORBILDER FÜR DEN AUFBAU EINER INFRASTRUKTUR

Die Herausforderung ist gross, aber technisch und wirtschaftlich machbar. Als Gesellschaft haben wir ähnliche Aufgaben immer wieder gemeistert. Zum Beispiel hat in den 1970er- und 1980er-Jahren die Überdüngung von Gewässern zu Fischsterben geführt,

und es mussten Badeverbote ausgesprochen werden. Durch den Ersatz von Phosphat in Waschmitteln und den Ausbau der Abwasserreinigung wurde die Gewässerverschmutzung stark reduziert. Die Investitionen in den Ausbau der Abwasserreinigungsinfrastruktur haben sich ausbezahlt. Heute können wir wieder bedenkenlos in Flüssen und Seen baden.

Auch für die CO₂-Entnahme und -Speicherung muss eine umfassende Infrastruktur aufgebaut werden. Bis 2050 sollen in der Schweiz jährlich rund 7 Mio. Tonnen CO₂ an Punktquellen abgeschieden werden. Um diese Mengen kosteneffizient zu transportieren, ist eine Pipelineinfrastruktur notwendig.² Es wird voraussichtlich nicht möglich sein, sämtliches bei Schweizer Anlagen abgeschiedenes CO₂ im Schweizer Untergrund zu speichern. Deshalb muss eine nationale Pipelineinfrastruktur an internationale Transportwege und Speicherstätten angebunden werden. Für den Ausgleich der verbleibenden 5 bis 7 Mio. Tonnen Negativemissionen pro Jahr muss die Schweiz voraussichtlich auch auf NET im Ausland zugreifen. Dazu gleist sie internationale Kooperationen auf. So hat sie im Juni 2025 mit Norwegen die Zusammenarbeit bei der Entnahme und Speicherung von CO₂ vertraglich festgelegt.

Das alles hat Kostenfolgen: Gemäss einer Studie im Auftrag des BAFU verursachen Aufbau und Betrieb einer Infrastruktur zur Abscheidung, zum Transport und zur Speicherung von CO₂ aus Schweizer Anlagen bis 2050 Kosten von ca. 16 Milliarden Franken.³ Der Aufbau erfolgt in Etappen und ist mit Herausforderungen für alle Beteiligten verbunden: Wer CO₂ abscheidet, trägt aufgrund der hohen Investitions- und Betriebskosten ein wirtschaftliches Risiko. Betreibende von Transportnetzen und Speicherstätten riskieren wiederum, dass die CO₂-Mengen in der Aufbauphase zu gering sind, um die Infrastruktur auszulasten.⁴



Bundesrat Albert Rösti (links) unterschreibt im Juni 2025 ein Abkommen mit Norwegen zur Speicherung von CO₂. Mit dem Abkommen wird der Export und die Speicherung von Schweizer CO₂ in Norwegen ermöglicht. Auch können Negativemissionen zwischen den zwei Ländern staatlich anerkannt gehandelt werden. Foto: Franziska Ingold

KLARER RECHTSRAHMEN NÖTIG

Das ruft nach einem stabilen rechtlichen Rahmen: Die regulatorischen Rahmenbedingungen müssen rasch vorliegen, um mit Blick auf das Netto-Null-Ziel 2050 die Entnahme und Speicherung von CO₂ zu skalieren. Auch müssen sie zweckmässig ausgestaltet sein, um Risiken mit Weitblick zu begegnen.

Bereits heute gibt es verschiedene relevante gesetzliche Rahmenbedingungen.⁵ So sind bei der Abscheidung von CO₂ die Vorgaben in den Bereichen Luftreinhaltung und Gewässerschutz zu beachten. Beim Transport sind die Bestimmungen für den Transport gefährlicher Güter einzuhalten. Bei der Speicherung von CO₂ findet das Abfallrecht Anwendung. Die bestehenden Regelungen ermöglichen grundsätzlich die Durchführung von ersten Projekten. Für die Entnahme und Speicherung von CO₂ im grösseren Massstab sind sie jedoch noch nicht geeignet. Beispielsweise wird CO₂, das zur dauerhaften Speicherung bestimmt ist, rechtlich als Abfall eingestuft. Da im geltenden Abfallrecht kein Deponietyp für die Ablagerung von CO₂ besteht, ist aktuell die geologische Speicherung von CO₂ in der Schweiz aus abfallrechtlicher Sicht unzulässig.

Zudem gilt es, die Zuständigkeiten von Bund und Kantonen zu klären. Beim Bau einer Pipeline für CO₂ durch die Schweiz müsste heute in jedem Kanton, den die Pipeline durchquert, ein eigenständiges Planungs- und Bewilligungsverfahren durchgeführt werden. Der Bund arbeitet gemeinsam mit den Kantonen und der Industrie darauf hin, regulatorische Hürden zu identifizieren und abzubauen. Auch das Parlament hat den Handlungsbedarf erkannt. Es hat dem Bundesrat im Frühjahr 2025 den Auftrag erteilt, eine nationale Regelung für die Harmonisierung von Planung und Bau von Infrastrukturen zum Transport und zur Speicherung von CO₂ auszuarbeiten. Der Bundesrat wird voraussichtlich im Sommer 2026 eine entsprechende Vorlage in die Vernehmlassung schicken. Gemeinsam mit dem neuen CO₂-Gesetz für die Zeit nach 2030, das ebenfalls in Arbeit ist, soll die Vorlage einen raschen, nachhaltigen

gen und zielgerichteten Ausbau der notwendigen Infrastruktur ermöglichen. Bundesrat Albert Rösti sagte im Parlament dazu:⁶ «Dabei strebt der Bundesrat für den Aufbau der Infrastrukturen möglichst verursachergerechte Finanzierungslösungen an. Klare und harmonisierte rechtliche Rahmenbedingungen [...] sind für Investitionen in diese Infrastrukturen zentral.»

PIONIERPROJEKTE FÖRDERN


Parallel zum gesetzgeberischen Prozess unterstützt der Bund die Industrie bereits heute dabei, Pionierprojekte umzusetzen und wichtige Erfahrungen für die breite Anwendung zu sammeln. Das am 1. Januar 2025 in Kraft getretene Klima- und Innovationsgesetz fördert gezielt auch den Einsatz von CO₂-Entnahme und -Speicherung. Ausserdem führen Vereinbarungen des Bundes, beispielsweise mit der Stiftung Klimarappen oder der Abfallbranche, zur Realisierung von ersten Pilotanlagen. Das Pilot- und Demonstrationsprojekt CITru unter Leitung der ETH Zürich plant einen ersten geologischen Einspeisetest

von CO₂ in der Schweiz und befasst sich dabei mit technischen, logistischen, regulatorischen und gesellschaftlichen Hürden in der Praxis (S. 12).

Alle diese Arbeiten haben zum Ziel, dass die Schweiz in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts auf den Ausbau von CO₂-Entnahme und -Speicherung so zurückblicken kann, wie heute auf den Ausbau der Abwasserreinigung in den 1970er- und 1980er-Jahren. ■


Martin Jiskra ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Sektion Klimapolitik beim Bundesamt für Umwelt (BAFU).


 **KONTAKT**
climate@bafu.admin.ch

 **REFERENZEN**
proclim.ch/id/cbV7S

VERSION FRANÇAISE



 **MEHR INFORMATIONEN**
bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/co2-entnahme-und-speicherung.html

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

CO₂ IM UNTERGRUND EINLAGERN – ZWISCHEN MACHBARKEIT UND AKZEPTANZ

Um das Netto-Null-Ziel zu erreichen, muss CO₂ im Untergrund gespeichert werden. Erste Projekte in der Schweiz erkunden Wege, wie dies gelingen kann.

TEXT: MICHÈLE MARTI, VIOLA BECATTINI, STEFAN WIEMER

Trotz grosser Anstrengungen, Treibhausgasemissionen zu vermeiden oder zu verringern, fallen auch langfristig in gewissen Sektoren schwer vermeidbare Emissionen an. Dazu zählen beispielsweise die Kehrichtverbrennung, die Zementproduktion oder die Landwirtschaft. Die Klimastrategie der Schweiz sieht vor, jährlich etwa 12 Mio. Tonnen CO₂ abzufangen und diese grösstenteils im Untergrund in der Schweiz oder im europäischen Ausland einzulagern. Bis es so weit ist, gilt es noch einige technische, logistische, regulatorische und gesellschaftliche Hürden zu überwinden. Das Demonstrations- und Pilotprojekt CITru (CO₂-Pilotinjektion in Trüllikon) unter der Leitung der ETH Zürich geht als erstes seiner Art der Frage nach, was es braucht und welche Hürden zu überwinden sind, um CO₂ im Schweizer Untergrund speichern zu können.

CO₂ EINFANGEN

In der Schweiz gibt es zahlreiche mögliche Punktquellen für eine CO₂-Abscheidung. Bisher verfügt aber noch keine grosse Punktquelle über eine CO₂-Abscheidungsanlage; einzig gewisse Biogasaufbereitungsanlagen trennen bereits CO₂ vom erzeugten Biomethan ab. Dies, obwohl das im Januar 2025 in Kraft getretene Klima- und Innovationsgesetz (KIG) solche Anlagen bis spätestens 2050 vorschreibt. Entsprechende Installationen sind aufwändig und teuer. Dies fällt umso mehr ins Gewicht, weil es derzeit kein belastbares Geschäftsmodell gibt, das nötige Investitionen vorantreibt.

Das führt teils zu unerwarteten Schwierigkeiten: Für das CITru-Projekt, das einen Einspeisetest in einem bestehenden tiefen Bohrloch auf dem Gebiet der Gemeinde Trüllikon (ZH) anstrebt, ist die Beschaffung des CO₂ eine zentrale Herausforderung. Bei der nicht allzu weit entfernten kantonalen Klärschlammverwertungsanlage und der Biogasaufbereitungsanlage Werdhölzli ist zwar eine Abscheidungsanlage in Planung, diese wäre aber erst nach dem Einspeisetest einsatzbereit. Daher bleibt für das Projekt möglicherweise nur die Option, das CO₂ bei einem konventionellen Anbieter einzukaufen.

CO₂ TRANSPORTIEREN

Das an der Punktquelle abgeschiedene CO₂ muss anschliessend an den Einlagerungsstandort im In- oder Ausland transportiert werden. Allein im Kanton Zürich werden das jährlich 335 000 Tonnen CO₂ sein, sobald die Abscheidungsanlage bei der Kehrichtverwer-

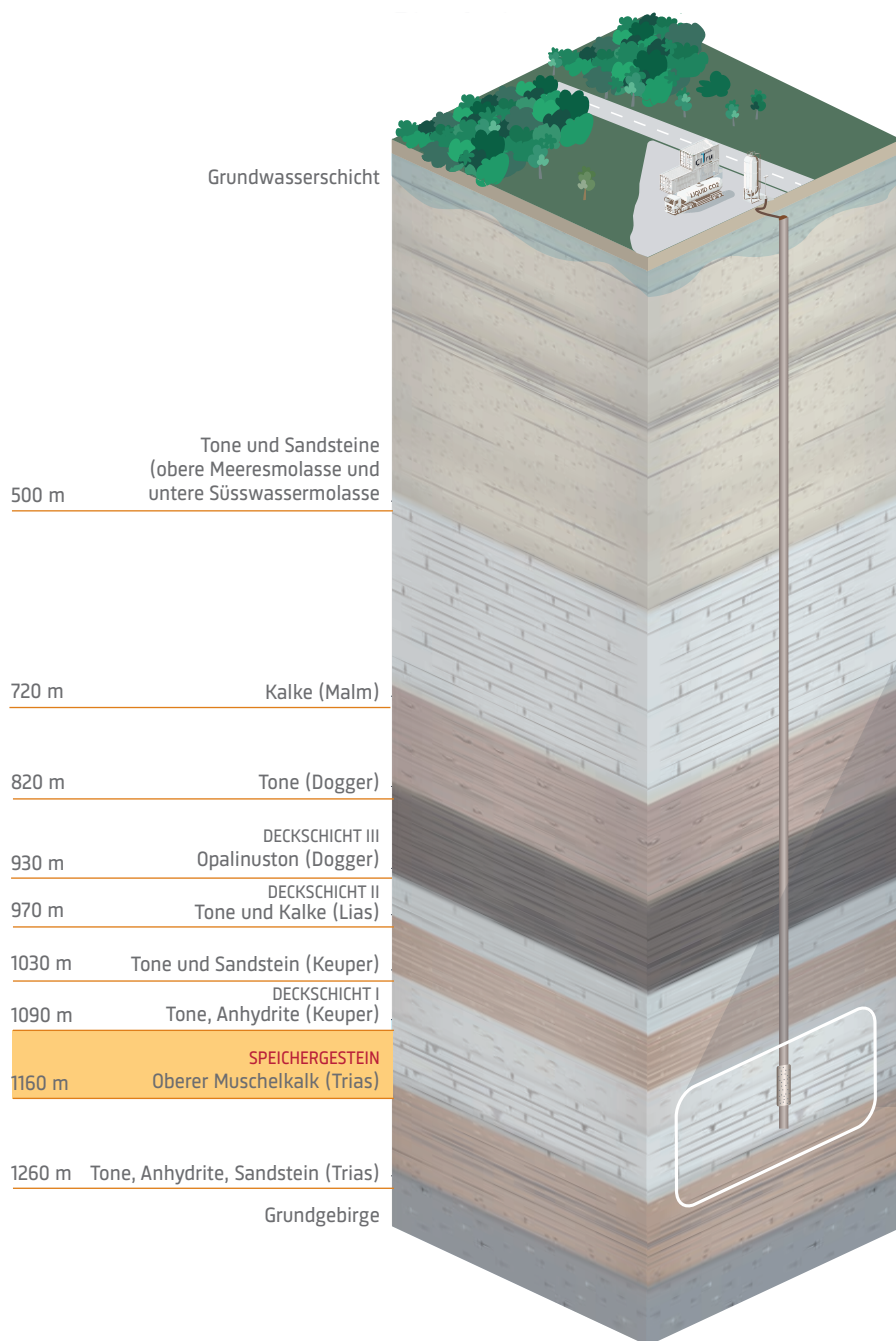
tungsanlage im Hagenholz in Betrieb geht. Wesentliche Kosten- und Emissionsreduktionen beim Transport liessen sich langfristig wohl nur durch den Bau eines Pipelinenetzwerks erreichen. Grund dafür ist, dass herkömmliche Transportmittel wie Lastwagen, Züge und Schiffe verhältnismässig teuer und deren Kapazitäten nicht beliebig ausbaubar sind. Sie kämen aber nach wie vor für kürzere Transporte des CO₂ zum Einsatz.

Für den Aufbau eines Pipelinenetzwerks braucht es eine längere Planungs- und Bauphase. Unter anderem müssten die rechtlichen Grundlagen auf Kantons- oder Bundesebene geschaffen werden. Das von der ETH Zürich geleitete Pilot- und Demonstrationsprojekt DemoUpCARMA (Demonstration and Upscaling of CARbon dioxide MAnagement solutions for a net-zero Switzerland) zeigte am Beispiel einer CO₂-Abscheidung an einer Biogasaufbereitungsanlage in Bern mit anschliessender Einlagerung in Island, dass die Klimabilanz positiv ausfällt – unabhängig vom gewählten Transport- und Abscheidungsverfahren. Die anfallenden Emissionen sind deutlich geringer als die Menge an CO₂, welche eingelagert werden kann.

CO₂ EINLAGERN

CO₂ lässt sich im Untergrund in ausgeschöpften Öl- und Gasfeldern, in salinen Aquiferen oder in basaltischen Gesteinsschichten einlagern. Die Speicherung von CO₂ wird im europäischen Ausland bereits vielerorts umgesetzt oder erprobt. Für die inländische Speicherung kommen einzig saline Aquifere in Frage. Untersuchungen des Schweizer Untergrunds zeigen, dass im gesamten Mittelland geeignete geologische Schichten vorhanden sind, um CO₂ dauerhaft einzulagern. Wie viel CO₂ sich darin tatsächlich speichern lässt und welche technischen, regulatorischen und gesellschaftlichen Hürden es gibt, ist aktuell noch unklar. CITru ist das erste Projekt, das diese Aspekte für die Schweiz am Standort Trüllikon vertieft untersucht.

CITru prüft die Machbarkeit eines CO₂-Einspeisetests durch ein stillgelegtes Bohrloch. Im Herbst 2024 startete die Erkundungsphase. Sie umfasst vertiefte Untersuchungen des lokalen Untergrunds in über 1000 Metern Tiefe mittels seismischer Messungen. Hinzu kommen Computersimulationen von verschiedenen Einspeiseszenarien und der Verteilung des CO₂ in der Tiefe sowie detaillierte Risikoabschätzungen. Zudem werden Logistik, Budget und Konzessionsvorgaben für die mögliche Einspeisung von CO₂ ermittelt. Wird das Vorhaben bewilligt und erweist es sich nach Abschluss der Erkundungsphase Ende 2025 als ausreichend sicher, umweltverträglich und finanzierbar, startet die Umsetzungsphase. Darin enthalten ist auch die Einspeisung von CO₂ in den Untergrund.





Stratigrafie des Bohrlochs in Trüllikon. Das CO₂ wird in ca. 1160 m Tiefe im Speichergestein injiziert und vom darüberliegenden Deckgestein aufgehalten. Mit der Zeit löst sich das CO₂ langsam im Grundwasser auf. Quelle: CITru/ETH Zürich

WOLLEN WIR ÜBERHAUPT CO₂ EINLAGERN?

Selbst wenn die technischen, logistischen, regulatorischen und finanziellen Voraussetzungen erfüllt sind, setzt die CO₂-Einlagerung die Akzeptanz der Gesellschaft voraus – im In- und Ausland. Eine im Rahmen von DemoUpCARMA durchgeführte, repräsentative Umfrage zeigt, dass die Schweizer Bevölkerung derzeit wenig über dieses Thema weiss. Die Einschätzungen variieren zwischen verschiedenen Transport- und Einlagerungsoptionen und sind somit sehr kontextspezifisch. Darüber hinaus beeinflussen persönliche Einstellungen (z.B. Haltung zum Klimawandel, politische Orientierung) die Akzeptanz von CO₂-Speicherprojekten. Daraus ergibt sich ein grosses Informationsbedürfnis insbesondere in Bezug auf die konkrete Umsetzung. Eine frühzeitige Einbindung von verschiedenen Interessengruppen und eine transparente Kommunikation sind daher unabdingbar.

 KONTAKT
citru@ethz.ch

 REFERENZEN
proclim.ch/id/SjveY

 MEHR INFORMATIONEN
citru.ethz.ch
demoupcarma.ethz.ch

Die Einlagerung von grossen Mengen CO₂ im Untergrund ist zwingend notwendig, um mittel- und langfristig die klimapolitischen Ziele zu erreichen. Keine andere verfügbare Technologie bietet derzeit nur annähernd genügend Speicherkapazitäten. Es stellt sich daher nicht die Frage, ob CO₂ im Untergrund eingelagert werden muss, sondern wie und wo. Dafür müssen im In- oder Ausland zahlreiche Faktoren zusammenspielen. Dazu gehören klare Verfahren, die Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen und neue Fachkräfte mit Erfahrung mit Eingriffen in den tiefen Untergrund. Ebenso wichtig sind Anwohnerinnen und Anwohner, die bereit sind, ein solches Projekt in ihrer Umgebung mitzutragen. ■

Michèle Marti ist Gruppenleiterin Kommunikation und Forschungsgruppe Risikokommunikation beim Schweizerischen Erdbebedienst an der ETH Zürich.

Viola Becattini ist Oberassistentin beim Schweizerischen Erdbebedienst an der ETH Zürich.

Stefan Wiemer ist Direktor des Schweizerischen Erdbebedienstes an der ETH Zürich und Professor für Seismologie.



MEHR CO₂ DER ATMOSPHERE ENTZIEHEN!

Die Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre wirft schwierige ethische Fragen auf. Aber letztlich gilt: Klimaschutz braucht mehr Einsatz auf allen Ebenen – und somit ist auch CDR dringend nötig.

TEXT: DOMINIC ROSER, IVO WALLIMANN-HELMER

Manche wenden ein, dass die Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre (CDR) zum sogenannten Moral-Hazard-Problem führe. Das heisst: Die Förderung von CDR könnte die Motivation für Emissionsreduktionen senken. Wenn wir der Atmosphäre Emissionen einfach wieder entziehen können, warum dann noch mühsam versuchen, sie zu senken?

Ist dieser Einwand tatsächlich berechtigt? Schliesslich geht es beim Klimaschutz darum, die atmosphärische Emissionskonzentration zu begrenzen. Und dafür gibt es zwei Strategien: der Atmosphäre weniger Emissionen zuzuführen oder ihr mehr Emissionen zu entziehen. Wenn beides zielführend ist, weshalb sollte es dann ein Problem sein, mehr CDR und weniger Emissionsreduktionen zu betreiben? Wir diskutieren hier drei mögliche Argumente, weshalb Moral Hazard bei CDR trotzdem Anlass zur Sorge geben könnte.

«EMISSIONSREDUKTIONEN SIND DER KÖNIGSWEG»

Ein erstes Argument besagt, dass Emissionsreduktionen der Königsweg seien. Demgegenüber sei CDR höchstens eine Backup-Lösung, wenn wir bei der «echten» Lösung, der Emissionsreduktion, versagen. Es sei gemogelt, mit CDR einen einfachen Ausweg zu nehmen, statt die wahre Ursache des Problems direkt anzugehen.¹

Dieses Argument überzeugt nicht. Grundsätzlich ist nichts edler daran, keine Emissionen auszustossen als sie der Atmosphäre wieder zu entziehen, nachdem sie ausgestossen worden sind. Unsere ethische Intuition macht oft eine übertrieben starke Unterscheidung zwischen Tun und Unterlassen: Aktiv etwas Schlechtes zu bewirken, empfinden wir oft als problematischer, als es zu unterlassen, etwas Schlechtes zu verhindern. Wir empfinden beispielsweise Littering als problematischer als es zu unterlassen, andere am Littering zu hindern. Doch diese starke intuitive Unterscheidung ist ethisch erstaunlich schwierig zu rechtfertigen.² Deshalb gilt beim Klimaschutz: Solange sowohl Emissionsreduktionen als auch CDR die atmosphärische Emissionskonzentration begrenzen, ist keines der beiden per se vorzugswürdig.

«CDR VERFÜHRT ZU GEFÄHRLICHEN TRÄUMEREIEN»

Ein zweites Argument, weshalb Moral Hazard gegen CDR sprechen soll, ist überzeugender. Es beruht auf der Einsicht, dass uns Emissionsreduktionen viel abverlangen. Wir sind versucht, an einfache

Auswege zu glauben, wo gar keine einfachen Auswege sind. Wird eine Idee für CDR auch nur schon angedacht, sinkt die Motivation bereits, Emissionen zu reduzieren – ohne dass wir zuerst sorgfältig geprüft hätten, wie realistisch diese Idee überhaupt ist.

Täten wir das, wäre die Bilanz zurzeit ernüchternd. Viele Vorschläge für CDR sind nämlich noch ungewisse Zukunftsträumereien. Das gilt umso mehr, wenn wir CDR kostengünstig und zuverlässig in einem so grossen Umfang einsetzen wollen, dass es überhaupt eine attraktive Alternative zu Emissionsreduktionen sein kann.^{3,4} Wir sollten das Potenzial von CDR evidenzbasiert einschätzen. Es ist offensichtlich falsch, als Gegenstück zu erhofftem CDR die Emissionen real weniger zu reduzieren.

In diesem Sinn liegt ein Moral-Hazard-Problem vor: CDR verführt uns dazu, sichere Emissionsreduktionen mit unsicherem CDR aufzuwiegen. Das ist aber nicht primär ein Einwand gegen die Nutzung von CDR. Es betrifft vor allem die Art, wie wir über CDR reden. Wir sollten CDR nicht als Zaubermittel darstellen, sondern hervorheben, wie gross die Unsicherheiten zurzeit noch sind, um diese Methoden im grossen Stil einsetzen zu können.

«CDR HAT SCHLECHTE NEBENWIRKUNGEN»

Ein drittes Argument führt die Nebenwirkungen von CDR ins Feld, um zu zeigen, warum es tatsächlich ein Problem ist, CDR als Ersatz für Emissionsreduktionen einzusetzen.

Sowohl Emissionsreduktionen als auch CDR haben positive und negative Nebenwirkungen.⁵ Emissionsreduktionen können zum Beispiel die Luftqualität verbessern, aber auch das Landschaftsbild beeinträchtigen. Während bei Emissionsreduktionen die positiven Nebeneffekte wohl meistens überwiegen, scheint es bei CDR oft umgekehrt zu sein.⁶ Dabei sticht insbesondere der Energie- und Flächenverbrauch für viele Formen von CDR hervor. Das kann Energie und Nahrung verteuern und damit die Armutsbekämpfung gefährden.⁷ Man sollte CDR also nicht ausschliesslich mit Blick auf die atmosphärische Emissionskonzentration beurteilen, sondern auch bezüglich der Nebenwirkungen.

Dieser Einwand gegen CDR ist stark. Er wäre aber viel bedeutender, wenn die globalen Emissionen bloss um 20 % oder 50 % gesenkt werden müssten.⁸ Um die Ziele des Pariser Klimaabkommens zu erreichen, müssen die Emissionen aber nicht bloss halbiert, sondern auf mindestens netto null gesenkt werden. Wenn wir dieses Ziel nur mit Emissionsreduktionen erreichen wollten, wäre das mit hohen Lasten verbunden, die schwerer wiegen als die negativen



Neue Technologien wie CDR können CO₂ direkt aus der Atmosphäre entfernen. Die «Orca plant» in Island des Unternehmens «Climeworks» entfernt CO₂ direkt aus der Luft, dieses wird danach verflüssigt und im Untergrund eingelagert. Auch wenn das Potenzial solcher Verfahren gross ist, stehen sie vor zahlreichen Herausforderungen. Zugleich liegt ein Moral-Hazard-Problem vor. Der Artikel beleuchtet drei mögliche Argumente, weshalb Moral Hazard bei CDR Anlass zur Sorge geben könnte. Foto: Climeworks

Nebenwirkungen von CDR. Aus ethischer Perspektive erscheint es deshalb sinnvoll, neben Emissionsreduktionen auch auf CDR zu setzen. Anders können wir die Pariser Ziele nicht erreichen – nicht zuletzt, weil die Netto-Emissionen dereinst für eine Weile sogar negativ werden müssen.^{9, 10}

Während das erste Argument nicht überzeugen konnte, das zweite hingegen überzeugte, ist das dritte teilweise überzeugend: Unter Berücksichtigung der negativen Nebenwirkungen ist CDR tatsächlich oft kein gleichwertiger Ersatz für Emissionsreduktionen. Wir sollten CDR deshalb nicht anstelle von einfachen Emissionsreduktionen nutzen. Trotzdem: Weil wir das Netto-Null-Ziel nicht ausschliesslich mit Emissionsreduktionen erreichen können, braucht es zusätzlich CDR.

CDR BRAUCHT VIEL MEHR EINSATZ


Was ist nun nach all diesen Überlegungen die ethisch optimale Balance zwischen Emissionsreduktionen und CDR? Diese Frage ist in der heutigen Situation kaum relevant: Wir brauchen von beidem viel mehr! Auch wenn es gute Gründe gibt, das Moral-Hazard-Problem ernst zu nehmen, so wurde CDR unter dem Strich bisher doch zu wenig statt zu stark gefördert. Bezüglich CDR bedingt dies viel mehr Investitionen in die Forschung, Entwicklung, Erprobung und Verbilligung.

Die Schweiz hat als finanzstarke Hightech-Nation viele Möglichkeiten, zur Weiterentwicklung von CDR beizutragen – und mit ihren hohen (konsumbasierten) Pro-Kopf-Emissionen auch eine grosse Verantwortung, dies zu tun. Zentral dabei ist: Wir sollten uns auf die Weiterentwicklung der global nötigsten CDR-Methoden ausrichten und nicht auf diejenigen, die für das nationale Netto-Null-Ziel am hilfreichsten sind. ■

Dominic Roser ist Dozent am Interdisziplinären Institut für Ethik und Menschenrechte an der Universität Freiburg i. Ue.

Ivo Wallimann-Helmer ist Professor für Umweltgeisteswissenschaften am Department of Geosciences der Universität Freiburg i. Ue. und Direktor des Environmental Sciences and Humanities Institute University of Fribourg.

KONTAKT
 dominic.rosen@unifr.ch

REFERENZEN
 proclim.ch/id/BfNv2



NEWS

KLIMAZUKUNFT SCHWEIZ: NEUESTE ERKENNTNISSE ZUM KLIMAWANDEL IN DER SCHWEIZ

Hitzetage, trockene Sommer, heftige Niederschläge und weniger Schnee – der Klimawandel ist auch in der Schweiz deutlich spürbar. Doch wie stark beeinflusst der Klimawandel die Schweiz? Das Projekt Klima CH2025 liefert fundierte Antworten, wie sich das Klima in der Schweiz bisher verändert hat und welche weiteren klimatischen Veränderungen erwartet werden. Die neuen Schweizer Klimaszenarien wurden vom Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz), der ETH Zürich und dem Center for Climate Systems Modeling (C2SM) mit Beiträgen von weiteren Partnern entwickelt und unter dem Dach des National Centre for Climate Services (NCCS) umgesetzt. Die Ergebnisse werden am 4. November 2025 im Rahmen einer öffentlichen Veranstaltung an der ETH Zürich vorgestellt und sind anschliessend online verfügbar.

 MEHR INFORMATIONEN
klimaszenarien.ch

BRENNPUNKT KLIMA SCHWEIZ

Der Bericht Brennpunkt Klima Schweiz 2026 fasst den aktuellen Stand des Klimawandels für die Schweiz zusammen. Er ist eine Aufdatierung des erstmals 2016 erschienenen ProClim-Berichts Brennpunkt Klima Schweiz. Basierend auf den Erkenntnissen aus dem 6. Berichtszyklus des Weltklimarats IPCC, den neuen Klimaszenarien CH2025 von MeteoSchweiz und aktuellen für die Schweiz relevanten Forschungsergebnissen, bietet dieser Bericht eine Übersicht zum bisher beobachteten und zukünftigen Klimawandel in der Schweiz. Ausserdem zeigt er Handlungsoptionen für verschiedene Sektoren auf. Alle Aussagen sind durch Quellenverweise ergänzt, um detaillierter in die einzelnen Themenbereiche einzutauchen. Der Bericht wird im ersten Quartal 2026 veröffentlicht. Wir halten Sie auf dem Laufenden.

AGENDA

AB 24. OKTOBER 2025 | BERN

**AUSSTELLUNG «MENSCH, ERDE! DAS KLIMA IM WANDEL»**

Das Naturhistorische Museum Bern öffnet im Herbst die Tore zu seiner neuen grossen Dauerausstellung: «Mensch, Erde! Das Klima im Wandel». Auf 630 Quadratmetern lädt die Ausstellung zu einer spannenden Zeitreise durch die Erdgeschichte – mit Fokus auf die grösste Herausforderung unserer Zeit: den menschengemachten Klimawandel.

nmbe.ch

5./6. DEZEMBER 2025 | BERN

**22ND SWISS GEOSCIENCE MEETING**

«Realigning with Planetary Boundaries: Equity and sustainability in resource exploration»
 Organisation: Plattform Geowissenschaften

geoscience-meeting.ch/sgm2025

23. JANUAR 2026 | BERN

**SWIFCOB 26**

Tagung
 Organisation: Forum Biodiversität

biodiversitaet.scnat.ch/swifcob

15. April 2026 | BERN

**26TH SWISS GLOBAL CHANGE DAY**

Der Swiss Global Change Day bietet einen Blick über den Tellerrand der Forschung zu Klima und globalem Wandel und deckt ein breites Spektrum an Themen ab. Er ist auch eine Gelegenheit, Forschungsergebnisse in Form von Postern zu präsentieren und mit Kolleginnen und Kollegen zu diskutieren. Die attraktivsten und umfassendsten Poster werden mit CHF 1000 für die Reise an eine Konferenz prämiert.

Organisation: ProClim
proclim.ch/id/KH362

Hintergründe und Fakten zum Klimawandel

Der ProClim Flash bietet Einblicke
in neueste Erkenntnisse
der Klimawissenschaft.

GreenFjord ist ein vierjähriges
Forschungsprogramm, das untersucht,
wie sich der Klimawandel auf die
Ökosysteme im Süden Grönlands aus-
wirkt. Mehr Informationen:
greenfjord-project.ch.

Foto: Lionel Favre, Extreme
Environments Research Laboratory
EPFL

HOSTED: OESCHGER-ZENTRUM FÜR KLIMAFORSCHUNG

«EINE INVESTITION IN UNSERE ZUKUNFT»

Die Ozeanforschung gewinnt auch im Binnenland Schweiz an Bedeutung. Das Oeschger-Zentrum zählt mit vier Gruppen, die in diesem Bereich forschen, auch international zu den wichtigen Akteuren.

TEXT: KASPAR MEULI

Das wissenschaftliche Interesse am Meer ist eindrücklich: Schweizer Forschende veröffentlichen jährlich über 100 Papers zu ozeanbezogenen Themen. Ganz so erstaunlich ist es nicht, dass sich helvetische Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den vielen Wissenslücken im Bereich der Ozeane annehmen. Schliesslich lässt sich hier noch wissenschaftliches Neuland betreten. Doch die generelle Bedeutung des Meers für die Schweiz lässt aufhorchen. Der Berner Ozeanforscher Thomas Frölicher spricht von «der Abhängigkeit der Schweiz vom Ozean» und fordert in einem Positionspapier¹, die Gesundheit der Meere müsse eine «nationale Angelegenheit» sein.

Die Stellungnahme, die im Vorfeld der 3. UN Ocean Conference (UNOC3) in Nizza im Juni 2025 veröffentlicht wurde, listet eine Vielzahl von Fakten auf, welche die Verbundenheit der Schweiz mit dem Ozean belegen: von den Ökosystemdienstleistungen des Ozeans über seine Rolle für die Ernährungssicherheit bis hin zu seiner Bedeutung als Rohstofflieferant und Quelle für Innovationen zum Beispiel in der Biotechnologie. Nicht zu vergessen ist die Rolle der Schweiz beim Schutz der Meeresbiodiversität und bei einer nachhaltigen Nutzung der Meere. Die Autoren des Positionsbereichs erklären, die Governance des Ozeans zu stärken, sei eine «globale Priorität».

Die Stärke der Schweizer Ozeanforschung und jener am Oeschger-Zentrum liegt in der Ozeanmodellierung. Die Universität Bern verfügt über eine lange Tradition bei der Entwicklung und Anwendung von hochauflösenden Erdsystemmodellen, inklusive der gesamten Hierarchie physikalisch-biogeochemischer Ozeanmodelle. Bei drei der vier Forschungsgruppen, die sich am Oeschger-Zentrum mit Ozeanforschung befassen, stehen Modellierungen im Vordergrund.

WIE STABIL IST DER OZEAN ALS CO₂-SPEICHER?

Charlotte Laufkötter und ihr Team erforschen die biologische Pumpe im Ozean – ein natürlicher Prozess, bei dem Meeresorganis-

men Kohlendioxid aus der Atmosphäre binden und in die Tiefe transportieren. In verschiedenen Modellstudien simulieren die Forschenden, wie dieser Prozess von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst wird: etwa von saisonalen Wanderungen des Zooplanktons in die Tiefe oder von veränderten Umweltbedingungen, die sich auf Plankton auswirken und dadurch den pH-Wert des Wassers beeinflussen. Ziel dieser Simulationen ist, zu verstehen, wie stabil der CO₂-Speicher Ozean ist – und wie wirksam er in Zeiten des Klimawandels bleibt.

Zurzeit arbeitet die Gruppe daran, erstmals Korallenriffe in globale Klimamodelle zu integrieren. Dadurch wollen die Forschenden besser verstehen, wie empfindlich Korallen auf Klimaveränderungen reagieren und wie sie selbst das Klima beeinflussen.

Die Gruppe von Thomas Frölicher befasst sich unter anderem mit der Erforschung von Hitzewellen im Ozean. So zeigte das Team



Die wichtigste Datenquelle der Forschenden ist das mobile Beobachtungssystem für die Weltmeere Argo. Die Daten werden mit Treibbojen erhoben. Foto: NOAA



Die mittlerweile rund 4000 automatisierten Treibbojen messen seit mehr als 20 Jahren Temperatur, Salzgehalt, Strömungen und chemische und biologische Komponenten. Die Daten werden praktisch in Echtzeit übertragen. Foto: Olivier Dugornay, IFREMER

kürzlich in einer «Nature»-Studie², dass ein sprunghafter Anstieg der globalen Meeresoberflächentemperaturen, wie er vor zwei Jahren beobachtet wurde, ohne den Einfluss des Klimawandels kaum möglich wäre. Zwischen April 2023 und März 2024 wurden neue Temperaturrekorde verzeichnet und alle bisherigen Höchstwerte deutlich übertroffen.

In einem anderen Projekt beschäftigt sich das Team mit ozeanbasierten Klimaschutzlösungen oder naturbasierten Strategien zur Entfernung von CO₂. Dazu zählt unter anderem die Erhöhung der Alkalinität des Ozeans, um dessen CO₂-Konzentration zu senken und so sein Potenzial als CO₂-Speicher zu erhöhen. Ein weiteres diskutiertes Verfahren ist Ozeanfertilisation. Dabei sollen gewisse Ozeanregionen mit Nährstoffen angereichert werden. Über das dadurch geförderte Wachstum von Phytoplankton liesse sich die Aufnahme von CO₂ erhöhen. Noch ist allerdings wenig über die Wirksamkeit und insbesondere die Risiken dieser Lösungen bekannt – eine Wissenslücke, welche die Forschenden des Oeschger-Zentrums schliessen wollen.

REKONSTRUKTION VON KLIMABEDINGUNGEN

Die Forschungsgruppe von Frerk Pöppelmeier beschäftigt sich mit der quantitativen Interpretation von Rekonstruktionen vergangener Klimabedingungen. Sie untersucht dazu natürliche Experimente aus der geologischen Vergangenheit der Erde, wie etwa Eiszeiten und abrupte Übergänge, die das Klima tiefgreifend veränderten. Ziel ist, Auslöser und Rückkopplungsmechanismen zu entschlüsseln, die diese Veränderungen antreiben.

Dieser Ansatz fliesst unter anderem in Untersuchungen der Gruppe zu Klima-Kipppunkten ein. So etwa bei einer Studie³, die 2023 in «Nature Geoscience» veröffentlicht wurde: Sie kam zum Schluss, dass es am Ende der letzten Eiszeit nicht, wie bisher angenommen, zu einem vollständigen Kollaps der Meeresströme im Atlantik kam. Die atlantische Zirkulation reagierte in der Vergangenheit weniger empfindlich auf Klimaveränderungen als gedacht. Die aktuellen Verhältnisse, so die Studie, unterschieden sich allerdings grundlegend von jenen am Ende der letzten Eiszeit. Allem voran

läuft die gegenwärtige, menschgemachte Veränderung viel schneller ab.


Auch die Forschungsgruppe von Hubertus Fischer, die sich mit paleoklimatischen und biogeochemischen Untersuchungen an Eisbohrkernen befasst, betreibt Ozeanforschung.⁴ Im Vordergrund steht dabei die Rekonstruktion der mittleren Ozeantemperatur. Interessanterweise liefert polares Eis, das die vergangene Atmosphäre in kleinen Luftblasen archiviert, viel direktere Information zur mittleren Ozeantemperatur als marine Sedimente. Aus den Luftblasen lässt sich nämlich nicht nur die Konzentration von CO₂ bestimmen, sondern auch jene des molekularen Stickstoffs und der Edelgase Argon, Krypton und Xenon.

Ein kleiner Prozentsatz dieser Gase ist im Ozean gelöst, weshalb sich dessen Temperatur rekonstruieren lässt. Der Grund: Das Verhältnis der gelösten Gase verändert sich mit der Wassertemperatur. Gelingt es nun, die Anteile der verschiedenen Gase hochpräzise zu messen, lässt sich dadurch indirekt die vergangene Ozeantemperatur ermitteln – je nach Alter des Eises bis 800 000 Jahre und mehr zurück. Die Berner Forschenden haben dazu eigens eine massenspektrometrische Methode entwickelt.

Die Ozeanforschung am Oeschger-Zentrum wird auch künftig einen gewichtigen Beitrag zur gemeinsamen Anstrengung leisten, die das erwähnte Positionspapier so umschreibt: «Die Stärkung der Rolle der Schweiz in der Meereswissenschaft, in der Governance und bei der nachhaltigen Nutzung des Ozeans ist eine strategische Investition in die Zukunft unseres Planeten – und in unsere eigene.» Denn ohne den Ozean gibt es kein Leben auf der Erde. ■

Kaspar Meuli ist Kommunikationsverantwortlicher des Oeschger-Zentrums für Klimaforschung.

 **KONTAKT**
kaspar.meuli@oeschger.unibe.ch

 **REFERENZEN**
proclim.ch/id/E6uUF

VERSION FRANÇAISE



u^b

**UNIVERSITÄT
BERN**

**OESCHGER CENTRE
CLIMATE CHANGE RESEARCH**

 **AKTIVITÄTEN UND PUBLIKATIONEN**
oeschger.unibe.ch

HOSTED: NETZWERK DES BUNDES FÜR KLIMADIENSTLEISTUNGEN (NCCS)

BUND LANCIERT WARNSYSTEM FÜR TROCKENHEIT

Um Trockenheitssituationen in der Schweiz systematisch beobachten und vorhersagen zu können, haben das BAFU, MeteoSchweiz und swisstopo ein Früherkennungs- und Warnsystem entwickelt. Am 8. Mai 2025 hat dieses System für die ganze Schweiz den Betrieb aufgenommen.

TEXT: VINCENT HUMPHREY, FABIA HÜSLER

PROCLIM FLASH
NR. 81 • 2025

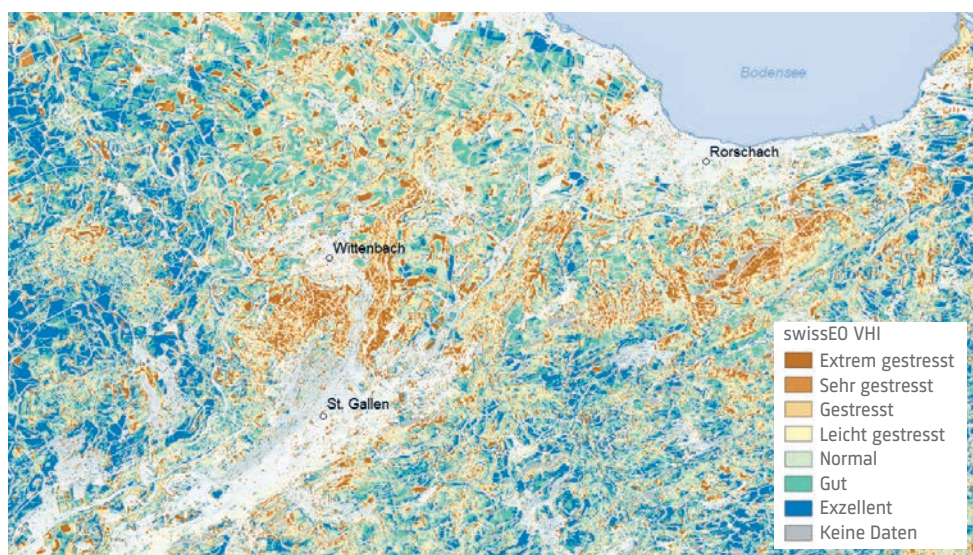
Als Folge des Klimawandels kann es häufiger zu längeren Trockenheitsperioden kommen. Sie haben Einfluss auf die Böden und Gewässer, schwächen Ökosysteme, erhöhen die Waldbrandgefahr und schaden der Landwirtschaft und anderen Sektoren. Seit dem 8. Mai 2025 steht ein schweizweites Früherkennungs- und Warnsystem für Trockenheit zur Verfügung, das meteorologische, hydrologische und satellitengestützte Daten zusammenführt. Die Informationsplattform zur Trockenheit (trockenheit.ch) wurde vom BAFU, von MeteoSchweiz und von swisstopo entwickelt. Sie ergänzt die bisherigen Dienstleistungen des Bundes im Bereich der Information und Warnung für Naturgefahren und setzt den Auftrag des Bundesrates vom 18. Mai 2022 um.

Wenn sich längere Trockenperioden abzeichnen, werden zusätzlich Trockenheitswarnungen auf der Informationsplattform veröffentlicht und über bestehende Warnkanäle (z. B. MeteoSchweiz-App) verbreitet. Solche Warnungen sollen es allen, die von Trockenheit betroffen sind, ermöglichen, Massnahmen rechtzeitig zu planen und zu ergreifen, und somit Schäden zu begrenzen. Trockenheit kann Schäden an Pflanzen und Kulturen verursachen, die Waldbrandgefahr erhöhen und lokal zu Engpässen bei der Verfügbarkeit von Wasserressourcen führen. Während Trockenperioden sinken Wasserstände und Abflüsse in den Gewässern. In Kombination mit hohen Lufttemperaturen kann dies eine schnellere Erwärmung und damit hohe Wassertemperaturen mit potenziell schädlichen Auswirkungen auf die Wasserlebewesen zur Folge haben.

Die Informationen und Frühwarnungen erleichtern es den Kantonen und Gemeinden, konkrete Massnahmen (z. B. Anpassung von

AKTUELLE LAGE, VORHERSAGEN UND WARNUNGEN

Auf der Trockenheitsplattform finden sich einheitlich aufbereitete Informationen zur aktuellen Trockenheitssituation in den verschiedenen Regionen der Schweiz sowie Vorhersagen für die nächsten vier Wochen. Auch Daten zu vergangenen Ereignissen können abgerufen werden. Dafür wurden bestehende Messnetze und Vorhersagemodelle gezielt mit neuen Informationen basierend auf Satellitendaten und Langfristvorhersagen (z. B. für Niederschlag) ergänzt. Voraussichtlich ab 2026 sollen auch Messdaten zur Bodenfeuchtigkeit und zu Gewässertemperaturen eingebunden werden.



Gesundheitszustand der Vegetation in der Region St. Gallen («swissEO VHI» vom 15. April 2025). Diese Karte vereint Satellitendaten von Sentinel-2 und Meteosat und zeigt gestresste Vegetation (braun) durch Faktoren wie Trockenheit, Krankheiten, Windwurf oder menschliche Eingriffe im Vergleich zur Klimareferenzperiode 1991-2020. Karte: swisstopo, MeteoSchweiz

Rheintal

Aktueller Zustand: sehr trocken. Die Trockenheit nimmt tendenziell ab.

Sehr trocken

Aktuelle Lage

Jahresvergleich

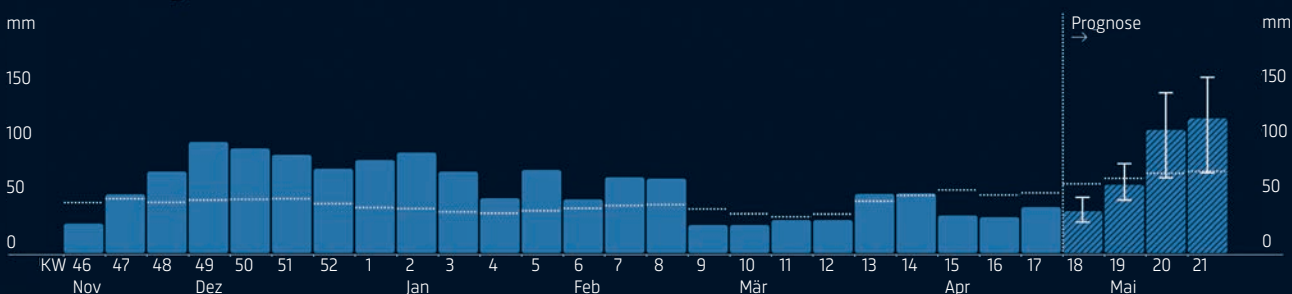
Zeitreihe

Trockenheitsindex Niederschlagssumme Abfluss Bodenfeuchte Vegetation Grundwasser

Trockenheitsindex



Niederschlagssumme



Auszug aus der Website trockenheit.ch vom 28. April 2025: Ende April 2025 war es im Rheintal eher trocken. Jeder Balken steht für eine Kalenderwoche. Auf der rechten Seite (schraffiert) sind die Prognosen bis Ende Mai mit der entsprechenden Unsicherheit dargestellt. Grafik: MeteoSchweiz, BAFU

Wasserentnahmen aus Fließgewässern, Abstellen von öffentlichen Brunnen) zu planen und umzusetzen. Bei Bedarf können sie Verhaltensanweisungen an die Bevölkerung herausgeben.

ZWEI ARTEN SATELLITENDATEN IN EINSATZ

Fehlt dem Boden Wasser, heizt er sich überdurchschnittlich auf. Die Landoberflächentemperaturen sind dann im Vergleich zur klimatologischen Referenzperiode 1991–2020 hoch. Der Wettersatellit Meteosat misst die Temperatur der Erdoberfläche bei wolkenfreiem Himmel mehrmals pro Stunde. Aus diesen Satellitendaten erzeugt MeteoSchweiz flächendeckende Messreihen der Landoberflächentemperatur – mit Messbeginn im Jahr 1991 – mit einer räumlichen Auflösung von 5 x 5 km.

Wenn die Trockenheit lange anhält, verfärben sich zudem die Pflanzen. Daher stellt swisstopo das Monitoring der Vegetation der Schweiz bei wolkenfreiem Himmel mehrmals pro Woche mit einer Rastergröße von 10 x 10 m sicher. Swisstopo verwendet dabei die seit 2017 verfügbaren optischen Satellitendaten der von der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) betriebenen Sentinel-2-Satelliten.

swisstopo kombiniert nun erstmals diese zwei Datenquellen (siehe Abbildung oben). Damit lässt sich der Zustand der Pflanzen präzise wiedergeben und die Trockenheit klimatologisch einord-

nen. Diese Daten werden alle 1 bis 3 Tage aktualisiert und ermöglichen eine räumlich besonders präzise Überwachung. Anhand dieser Daten können Forstverantwortliche die Gesundheit der Wälder besser einschätzen und so zum Beispiel die Überwachung des Befalls durch Borkenkäfer und andere Schädlinge in den Folgejahren gezielt planen. ■

Vincent Humphrey ist Klimawissenschaftler bei MeteoSchweiz.

Fabia Hüsler leitet das nationale Trockenheitsprogramm.

KONTAKT
vincent.humphrey@meteoschweiz.ch
fabia.huesler@bafu.admin.ch

REFERENZEN
proclim.ch/id/G4iYV



HOSTED: GLOBAL CLIMATE OBSERVING SYSTEM (GCOS)

WIE DIE SCHWEIZ DAS KLIMA BEOBACHTET: EIN INVENTAR

Von bald 100-jährigen Ozonmessungen bis zu noch älteren Temperatur- und Gletschermessreihen: Die Schweiz leistet mit langjährigen Messreihen von zahlreichen Klimavariablen einen zentralen Beitrag zur globalen Klimabeobachtung. Die wichtigsten sind im neuen nationalen GCOS-Inventar-Bericht dokumentiert.

TEXT: LADINA PFISTER, MICHELLE STALDER

1 926, das Geburtsjahr von Queen Elisabeth II., markiert zugleich den Beginn der weltweit längsten kontinuierlichen Messreihe der Ozonsäule in der Atmosphäre. Die Messungen wurden damals in Arosa (GR) gestartet. Aus logistischen Gründen erfolgte vor gut sechs Jahren der Umzug nach Davos (GR). Dort werden die Messungen vom Physikalisch-Meteorologischen Observatorium Davos/Weltstrahlungszentrum (PMOD/WRC)¹ im Auftrag von MeteoSchweiz² ohne Unterbruch bis heute fortgeführt.

Doch was genau passiert in Davos? Sogenannte Spektrophotometer messen die Absorption ultravioletter Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre bei verschiedenen Wellenlängen. Daraus lässt sich der Gesamtzongehalt in der Luftsäule über der Messstation bestimmen.³ Diese Methode gilt als die derzeit genaueste zur Bestimmung des totalen Ozongehalts und dient auch der Validierung grossräumlicher, satellitenbasierter Messungen.

Ozonmessungen sind seit den 1970er-Jahren besonders relevant, da die damals noch erlaubten, heute jedoch verbotenen fluorierten Treibhausgase (FCKW) zur Zerstörung der Ozonschicht beitragen. Dies hatte eine erhöhte ultraviolette Strahlung an der Erdoberfläche mit erheblichen Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit⁴ zur Folge. Laut Julian Gröbner, Co-Leiter des WRC und Leiter der Sektion Ozon, sind langjährige Messreihen wie diejenige in Arosa/Davos notwendig, um vergleichsweise geringe Veränderungen der Ozonschicht gegenüber den grossen natürlichen Schwankungen feststellen zu können.

INVENTAR DER WICHTIGSTEN SCHWEIZER KLIMAMESSREIHEN

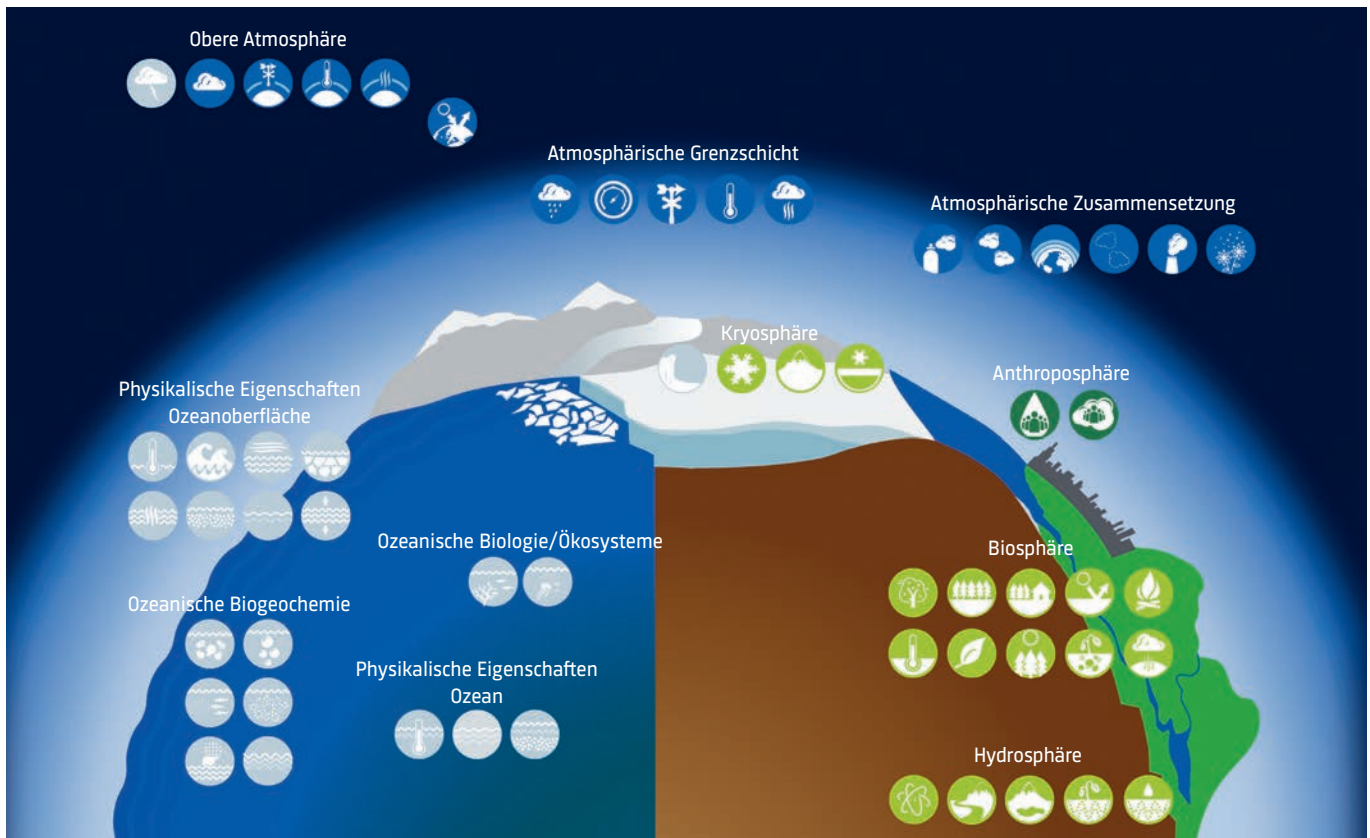
Neben der weltweit längsten kontinuierlichen Ozon-Messreihe verfügt die Schweiz über weitere rekordverdächtig langjährige Klimabeobachtungen: Temperatur und Niederschlag werden beispielsweise

seit über 150 Jahren kontinuierlich gemessen und auch Gletscherdaten reichen bis ins späte 19. Jahrhundert zurück. Diese und weitere Messreihen sind ein wichtiger Schweizer Beitrag zum internationalen Programm «Global Climate Observing System» (GCOS), das eine systematische und qualitativ hochwertige Beobachtung des Klimas sicherstellt (Box). Der aktuelle GCOS-Implementierungsplan (2022)⁵ spezifiziert 55 essenzielle Klimavariablen («Essential Climate Variables», ECVs), die zur Charakterisierung des Klimasystems und dessen Wandel erforderlich sind. In der Schweiz werden insgesamt 34 Klimavariablen systematisch beobachtet und im Bericht «National Climate Observing System», dem Schweizer GCOS-Inventar, dokumentiert. Die Aufnahme der ECVs und Messreihen ins Inventar erfolgt nach festgelegten Kriterien, und die aufgeführten Messreihen werden alle nach internationalen Qualitätsstandards erhoben.

Im GCOS-Inventar finden sich für jede ECV (z. B. Ozon) eine Beschreibung der Messungen in der Schweiz, die rechtliche Grundlage sowie Informationen zu langjährigen Messreihen und deren internationaler Relevanz. Zusätzlich zu den wichtigsten klimatologischen Messreihen beschreibt das Inventar auch sieben in der Schweiz ansässige internationale Zentren, die einen weiteren Beitrag zu GCOS darstellen. So stellt der World Glacier Monitoring Service (WGMS) die weltweite Verfügbarkeit von Gletschermessdaten sicher, während das World Calibration Centre der Empa (WCC-Empa) Referenzstandards für die Messung atmosphärischer Spurengase definiert. Im Inventar wird zudem festgehalten, welche ECVs und dazugehörigen Messreihen und welche internationalen Zentren potenziell gefährdet sind. Ein Ziel des Schweizer Beitrags zu GCOS ist es, diese Zeitreihen und Zentren langfristig zu sichern.

NEUESTE ENTWICKLUNGEN IN DER SCHWEIZER KLIMABEOBACHTUNG

Das erste Schweizer GCOS-Inventar wurde 2007 veröffentlicht und 2018 erstmals umfassend revidiert. Aufgrund weiterer Fortschritte in der systematischen Klimabeobachtung und entsprechender Entwicklungen in der Schweiz koordinierte das Swiss GAW/GCOS Office eine zweite Revision unter Einbezug von 29 nationalen Partnerin-



Übersicht der essentiellen Klimavariablen: atmosphärisch (blau), terrestrisch (hellgrün), anthropogen (dunkelgrün). Die grauen ECVs werden in der Schweiz nicht beobachtet. Quelle: Swiss GAW/GCOS Office, adaptiert von WMO, 2025⁷

stitutionen. Der neue Bericht ist seit Sommer 2025 auf der Swiss GAW/GCOS-Webseite⁶ verfügbar.

Im Rahmen der Revision wurden alle Kapitel aktualisiert. Eine wichtige Neuerung ist die Aufnahme des Central Calibration Laboratory (CCL-METAS), das Referenzwerte für zehn halogenierte flüchtige organische Verbindungen (VOCs) bereitstellt. Neu aufgenommen wurde auch die ECV «Evaporation from land» (Wasserverdunstung), für welche in der Schweiz langjährige, international relevante Messungen existieren. Das Kapitel zu den Bodenfeuchtemessungen wurde zudem im Zuge des Bundesratsbeschlusses von 2022 vollständig überarbeitet.

Darüber hinaus dokumentiert das GCOS-Inventar neue Entwicklungen in der Klimabeobachtung, wie den vermehrten Einsatz von Reanalysen für ein besseres Verständnis vergangener Klimamuster oder den Einbezug von Proxydaten, also indirekten Klimadaten wie beispielsweise Eisbohrkerne oder Baumringe. Das Inventar wird auch künftig laufend aktualisiert, denn die systematische Klimabeobachtung bleibt von grosser Bedeutung. In diesem Kontext ist auch die Fortführung der längsten kontinuierlichen Ozonmessreihe in Arosa/Davos essenziell, die anlässlich ihres 100-jährigen Bestehens am 25. Juli 2026 im Rahmen eines Symposiums am PMOD/WRC gewürdigt wird. WCR-Co-Leiter Julian Gröbner betont: «Ozonmessungen sind insbesondere in den kommenden 50 Jahren zentral für die Analyse der Erholung der Ozonschicht und der noch ungewissen Auswirkungen des Klimawandels auf den Ozon Gehalt.» ■

Ladina Pfister und **Michelle Stalder** arbeiten im Swiss GAW/GCOS Office beim Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz.

KONTAKT
gaw-gcos@meteoswiss.ch

REFERENZEN
proclim.ch/id/paVLb


MEHR INFORMATIONEN
gaw-gcos.ch

VERSION FRANÇAISE



GCOS KURZ ERKLÄRT

Das Global Climate Observing System (GCOS) ist ein internationales Programm mit dem Ziel, qualitativ hochwertige Klimabeobachtungen aus der ganzen Welt allen Nutzerinnen und Nutzern zugänglich zu machen. Das Schweizer Klimabeobachtungssystem – GCOS Schweiz – setzt dieses globale Programm auf nationaler Ebene um. GCOS Schweiz baut auf der Arbeit von 29 Partnerinstitutionen auf und wird vom Swiss GAW/GCOS Office am Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz koordiniert.

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

BILDER EINER LEBENSWERTEN ZUKUNFT

ProClim schafft mit dem Projekt «Zukunftsbilder Netto-Null» fassbare und wissenschaftlich fundierte Visionen einer klimaneutralen Gesellschaft. Nach einem Pilotprojekt in Burgdorf wurden Bilder für einen lebenswerten und klimaneutralen Kanton Luzern gestaltet. Fünf Überlegungen waren bei diesem transdisziplinären Prozess zentral.

TEXT: SOL KISLIG, SEVERIN MARTY

Das Projekt «Zukunftsbilder Klima Kanton Luzern» hat zum Ziel, mit neuen Wegen der Wissenschaftskommunikation die Akzeptanz von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmassnahmen zu erhöhen und Lösungen ins Gespräch zu bringen. Die Zukunftsbilder zeigen, wie ein zukünftig klimaneutraler Kanton Luzern aussehen könnte: in der Landschaft, in der Stadt, im Dorf, im Industriegebiet und in einer Bergregion. Fünf Überlegungen waren bei diesem transdisziplinären Prozess zentral.



1) EMOTIONALER ZUGANG

Unser Ziel war, Betrachterinnen und Betrachter zuerst auf einer emotionalen Ebene anzusprechen. Deswegen rückten wir alltägliche Situationen in den Fokus: in einer Pfütze spielende Kinder, ein vom Beerenstrauch naschender Junge, Bauarbeitende in der Znünipause, eine Frau auf dem Fahrrad, Mitglieder einer WG beim Kartenspiel.



2) BETROFFENHEIT SCHAFFEN

Die Zukunftsbilder sind im Kanton Luzern angesiedelt. Elemente wie der Pilatus oder die Fasnacht sollen bei Luzernerinnen und Luzernern einen direkten Bezug zu ihrem Alltag schaffen. Gleichzeitig macht zum Beispiel ein Ernteroboter deutlich, dass es sich um Zukunftsbilder handelt. Die Bilder sollen vermitteln, wie ein bekanntes Umfeld in einer klimaneutralen Zukunft aussehen könnte – und damit die Selbstwirksamkeit der Menschen stärken.



Wir haben es in der Hand, die verschiedenen Handlungsoptionen des Klimaschutzes und der Klimaanpassung umzusetzen und unsere Zukunft aktiv mitzugestalten: Diese Botschaft sollen die Zukunftsbilder senden. Bewusst haben wir uns deshalb für Illustrationen entschieden. Sie laden dazu ein, Leerstellen zu ergänzen und sich die Zukunft auszumalen. Das gestaltende Motiv des Bauens und Pflanzens wurde im Übersichtsbild aufgegriffen. Es gibt nicht einen richtigen Weg, sondern viele Handlungsoptionen, die zum Netto-Null-Ziel 2050 beitragen können: Diese Vielfalt an Optionen wollen wir sichtbar machen.



4) VIELFÄLTIGE LÖSUNGEN

Wir hatten oft die Qual der Wahl: Welche Handlungsoptionen sollen in den verschiedenen Situationen im Vordergrund stehen, welche lassen wir weg? Die Darstellung eines Fernwärmenetzes schaffte es nicht in die finalen Fassungen. Doch der Grundtenor der Zukunftsbilder bleibt bestehen: Lösungen werden in den Fokus gerückt und zeigen die vielfältige Palette an Klimaschutz- und Klimaanpassungsmassnahmen. Klar wird auch, dass solche Massnahmen nicht immer weniger Lebensqualität oder Verzicht bedeuten. Im Gegenteil: Mehr Gemeinschaftssinn, grünere Städte, die Entschleunigung des Verkehrs und das Überdenken unserer Prioritäten können zu mehr Lebensqualität und besserer Gesundheit beitragen.



5) WISSENSCHAFTLICHKEIT GARANTIEREN

Das Ziel waren wissenschaftlich fundierte und somit plausible Zukunftsbilder. Nebst fundierter Recherche diskutierten wir die Bilder mit Expertinnen und Experten und passten sie an: So wurden etwa die Agri-PV-Anlagen transparenter, um für die Pflanzen genug Licht durchzulassen – und stehen nun auf Mittelstützen, damit die Kulturen mit Maschinen bearbeitet werden können. Wir ersetzen Fichten durch klimaresistente Föhren oder optimierten die Streckenführung von Fahrradwegen. ■

MEHR AKZEPTANZ FÜR KLIMASCHUTZ UND KLIMAAANPASSUNG

Das Projekt «Zukunftsbilder Klima Kanton Luzern» wurde von der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz SCNAT, dem Kanton Luzern und der Zürcher Hochschule der Künste ZHdK (Fachrichtung Knowledge Visualization) durchgeführt und vom Bundesamt für Umwelt (BAFU), der Albert Koechlin Stiftung und dem Lotteriefonds des Kantons Luzern unterstützt.

Sol Kislig und Severin Marty arbeiten bei ProClim.

KONTAKT
 proclim@scnat.ch

REFERENZEN
 proclim.ch/id/Q6xGU





Es klimaneutral's Lozärn, jo gärn!

Zukunftsbilder
Klima
Kanton Luzern

HOSTED: CENTER FOR CLIMATE SYSTEMS MODELING (C2SM)

NACHHALTIGE LÖSUNGEN DANK INTERDISZIPLINARITÄT

67 Nachwuchsforscherinnen und -forscher trafen sich im August 2025 anlässlich der Swiss Climate Summer School auf dem Monte Verità (TI) mit international renommierten Expertinnen und Experten verschiedener Disziplinen. Sie diskutierten über nachhaltige Wege zur Erreichung des Netto-Null-Ziels, wobei interdisziplinäre Ansätze im Fokus standen.

TEXT: CHRISTINA SCHNADT POBERAJ, ANDREA MÖLLER

Die 23. Swiss Climate Summer School fand vom 24. bis 29. August 2025 auf dem Monte Verità im Kanton Tessin statt. 67 Schweizer und internationale Nachwuchsforschende aus den Bereichen Klima- und Erdsystemwissenschaften, Biodiversitäts- und Energieforschung, Sozial-, Politik- und Wirtschaftswissenschaften trafen sich mit 15 Expertinnen und Experten aus der Klimaforschung, den Politikwissenschaften oder aus der Psychologie. Gemeinsam diskutierten sie das Thema «Nachhaltige Wege zum Netto-Null-Ziel». Dabei lag der Fokus nicht nur auf dem Klimawandel, sondern auch auf Fragen zur Energiewende und Biodiversität.

WISSEN UND NETZWERK ERWEITERN


Der interdisziplinäre Ansatz ist ein zentraler Bestandteil des ETH-Projekts SPEED2ZERO, das die Grundlage für die Summer School 2025 bildete. Die vielen international renommierten Expertinnen und Experten aus unterschiedlichen Disziplinen boten den Studierenden die Möglichkeit, integrative Ansätze zu diskutieren. Dabei ging es um Lösungen für die Dekarbonisierung bis 2050, den Aufbau einer Infrastruktur für erneuerbare Energien und die gleichzeitige Erhaltung der Biodiversität.

Das Programm bestand aus Keynote-Vorträgen der Expertinnen und Experten und einer Postersession, bei der die jungen Forschenden ihre Projekte vorstellten. Hinzu kamen spezifische Workshops, eine Exkursion und eine abschliessende Diskussion. So konnten die Teilnehmenden nicht nur ihr Wissen erweitern, sondern auch ihr Netzwerk mit neuen Kontakten zu Forscherinnen und Forschern aus anderen Fachbereichen und aus aller Welt ausbauen.

INVESTITION IN NACHHALTIGE AUSBILDUNG

Seit 2002 engagiert sich die Schweizer Klimaforschungsgemeinschaft für die nachhaltige Ausbildung junger Forscherinnen und Forscher. Die Swiss Climate Summer School (bis 2012 unter dem Namen International NCCS Climate School bekannt) wird jährlich gemeinsam vom Center for Climate Systems Modeling (C2SM, ETH Zürich) und dem Oeschger Centre for Climate Change Research (OCCR, Universität Bern) organisiert.

Christina Schnadt Poberaj arbeitet als Geschäftsführerin und **Andrea Möller** als Kommunikationsexpertin beim C2SM.


REFERENZEN
 proclim.ch/id/2ksLX


VERSION FRANÇAISE



WAS IST DAS C2SM?

Das Zentrum für Klimasystemmodellierung (Center for Climate Systems Modeling, C2SM) will das Verständnis des Klimasystems verbessern und die Vorhersagekraft von Klima- und Wettermodellen stärken. Es ist eine gemeinsame Initiative der ETH Zürich, von MeteoSchweiz, der Empa, der WSL und der Eawag.

MEHR INFORMATIONEN
 climateresearch.ch
c2sm.ethz.ch
speed2zero.ethz.ch

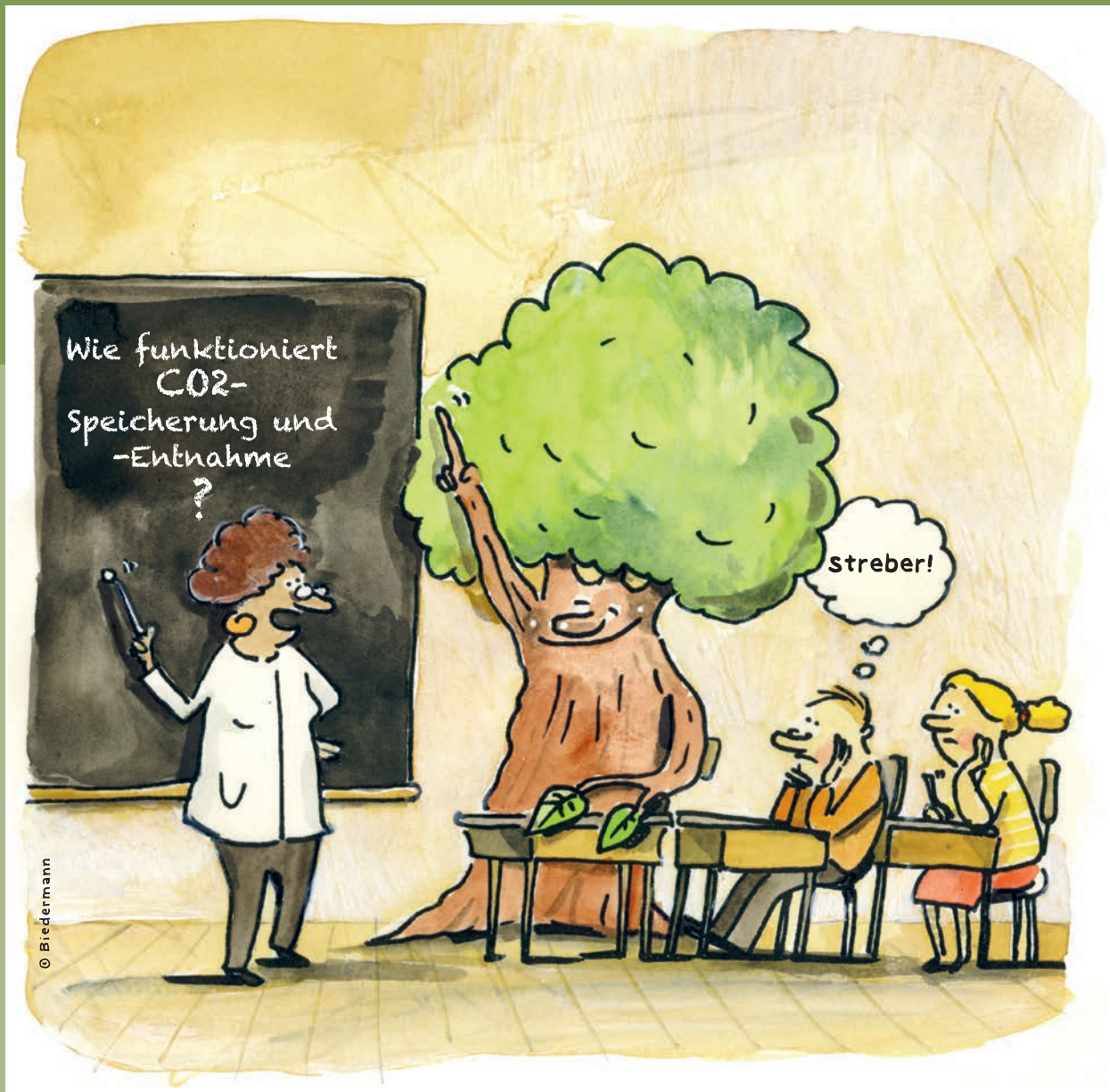
KONTAKT
 info@c2sm.ethz.ch

ETH zürich




ZUM SCHLUSS

APROPOS CO₂-ENTNAHME UND -SPEICHERUNG



HERAUSGEBERIN UND KONTAKT

 Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT)
ProClim – Forum für Klima und globalen Wandel
Haus der Akademien · Laupenstrasse 7
Postfach · 3001 Bern · Schweiz
proclim@scnat.ch · proclim.ch
proclim.ch/flash/81



Höchster Standard für Ökoeffektivität.
Cradle to Cradle Certified®-Druckprodukte
hergestellt durch die Vögel AG.