

DemoUpCARMA & DemoUpStorage – FAQ (Deutsche Version)

1. Was bedeutet "Netto-Null" und warum ist es wichtig, dieses Ziel bis 2050 zu erreichen?

Die Schweiz hat sich verpflichtet, das international vereinbarte Ziel zu erreichen, die globale Klimaerwärmung deutlich unter 2° C, vorzugsweise auf 1,5° C, gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen, wie es im Pariser Abkommen festgelegt ist. Dieses Ziel zu erreichen und damit einhergehend die Auswirkungen des Klimawandels zu begrenzen, ist für die Schweiz von grosser Bedeutung. Die globale Erwärmung wird durch die Emission von Treibhausgasen verursacht, wobei Kohlendioxid (CO₂) den grössten Anteil ausmacht. Um das globale Temperaturziel zu erreichen, müssen die Emissionen bis zum Jahr 2050 auf Null gesenkt werden. Netto-Null bedeutet, dass die Treibhausgasemissionen so weit wie möglich auf Null reduziert und die schwer vermeidbaren CO₂-Emissionen kompensiert werden (s. Q 5).

2. Was ist der Unterschied zwischen fossilem, biogenem und atmosphärischem CO₂?

Atmosphärisches CO₂ ist das CO₂, das in die Atmosphäre freigesetzt wurde und somit den Anstieg der globalen Temperatur verursacht. Atmosphärisches CO₂ kann unterschiedlichen Ursprungs sein. Im Zusammenhang mit Netto-Null wird zwischen fossilem und biogenem CO₂ unterschieden.

Fossiles CO₂ wird bei der Verbrennung fossiler Rohstoffe wie Kohle, Öl oder Gas freigesetzt. Das fossile CO₂ war seit Millionen von Jahren im Untergrund gespeichert. Durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe wird eine grosse Menge an gespeichertem CO₂ wieder in die Atmosphäre freigesetzt. Zusätzlich stossen chemische und andere industrielle Anlagen oder auch Zementherstellung fossiles CO₂ aus.

Biogenes CO₂ ist CO₂, das durch die Verbrennung oder Zersetzung von organischem Material (Biomasse) in Form von Kompost, verbranntem Holz oder Klärschlamm freigesetzt wird. Die Biomasse hatte zuvor das CO₂ aus der Atmosphäre durch Photosynthese aufgenommen.

3. Was sind CCS, CCUS und CCTS?

CCS steht für «Carbon dioxide Capture and Storage» und bedeutet Abscheidung und Speicherung von CO₂. CCS beinhaltet die Abscheidung von CO₂ aus Punktquellen wie Müllverbrennungs-, Chemie- oder Zementanlagen und die dauerhafte Speicherung in unterirdischen geologischen Formationen oder in Baumaterialien (z. B. Beton). Das abgeschiedene CO₂ kann dabei fossilen oder biogenen Ursprungs sein (s. Q 2).

In DemoUpCARMA konzentrieren wir uns auf zwei spezifische CCS-Ansätze, die wir als **CCUS** (Carbon dioxide Capture, Utilisation and Storage; CO₂-Abscheidung, -Gebrauch und -Speicherung) und **CCTS** (Carbon dioxide Capture, Transport and Storage; CO₂-Abscheidung, -Transport und -Speicherung) bezeichnen und unterscheiden. Die Buchstaben «U» und «T» der beiden Akronyme stehen für die Komponenten «Nutzung» (eng.: utilization) und «Transport», welche in diesen beiden Ansätzen hinzukommen.

CCUS umfasst drei Schritte: (i) CO₂-Abscheidung aus Punktquellen, (ii) Nutzung von CO₂ als Rohstoff zur Herstellung einer Reihe von Produkten wie Beton, Methanol, Ethanol, Karbonaten, Kunststoffen usw. DemoUpCARMA untersucht einen CCUS-Weg, der die dauerhafte CO₂-Speicherung in Baumaterialien optimiert. DemoUpCARMA untersucht und zeigt die Speicherung von CO₂ in Recyclingbeton im Rahmen eines CCUS-Pilotprojekts auf. Dazu wird das in einer Biogasanlage abgeschiedene biogene CO₂ genutzt und in Beton gespeichert, der dann als Baumaterial verwendet wird.

Auch CCTS umfasst drei Schritte: (i) CO₂-Abtrennung aus Punktquellen, (ii) Transport des CO₂ per LKW, Zug, Schiff/Lastschiff oder Pipeline und (iii) dauerhafte CO₂-Speicherung in einem geologischen Reservoir. In DemoUpCARMA wird ein CCTS-Pilotprojekt untersucht und demonstriert, bei dem in einer Biogasanlage abgeschiedenes biogenes CO₂ von der Schweiz nach Island transportiert wird. Dort wird es in Meerwasser gelöst und unterirdisch in einer Basaltformation gespeichert.

Wenn CCUS- oder CCTS-Ansätze auf fossilem CO₂ basieren (z. B. CO₂, das in einer Chemieanlage abgeschieden wurde), führen sie zur Vermeidung von CO₂-Emissionen. Basieren CCUS- oder CCTS-Ansätze hingegen auf biogenem CO₂ (z. B. CO₂, das aus einer Biogasanlage abgeschieden wird), entstehen negative Emissionen (CO₂-Entfernung). Im letzteren Fall würde die CCUS- oder CCTS-Anwendung als negative Emissionstechnologie (NET; Details siehe Q4) kategorisiert werden. Dies gilt auch für die beiden oben erwähnten DemoUpCARMA-Pilotprojekte.

4. Was sind NET?

NET (negative emission technology) stehen für negative Emissionstechnologien. NETs umfassen alle vom Menschen geschaffenen Lösungen, die der Atmosphäre dauerhaft CO₂ entziehen, einschliesslich Umweltmassnahmen wie Bodenkohlenstoffmanagement und Wiederaufforstung. Dieser Prozess wird auch als CO₂-Entfernung (CDR, carbon dioxide removal) bezeichnet. Die am häufigsten diskutierten, weitest entwickelten und umgesetzten Lösungen sind Biokohle, Kohlenstoffbindung im Boden, Aufforstung und Wiederaufforstung, Bioenergie mit Kohlenstoffabscheidung und permanenter CO₂-Speicherung (BECCS; Bioenergy with Carbon Capture and Storage) sowie direkte Abscheidung und permanente Speicherung von CO₂ in der Luft (DACCS; Direct Air Capture and Storage). Wenn biogenes CO₂ über NET dauerhaft aus der Atmosphäre entfernt wird, werden negative Emissionen erzeugt.

Mehr Informationen dazu gibt es hier: <https://www.carbon-removal.ch/de/cdr-methods/>

oder hier: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/co2-entnahme-und-speicherung.html> .

5. Warum benötigen wir CCS und NET für die Schweiz?

Gemäss der langfristigen Klimastrategie der Schweiz belaufen sich die verbleibenden, schwer zu kompensierenden Treibhausgasemissionen aus Industrie, Abfallwirtschaft und Landwirtschaft auf rund 12 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente. Diese können entweder durch CCS oder NETs kompensiert werden. Etwa 5 Millionen Tonnen dieser CO₂-Emissionen aus grossen industriellen Punktquellen sollen durch CCS-Massnahmen reduziert werden. Die verbleibenden 7 Millionen Tonnen pro Jahr sollen durch NETs wie Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und dauerhafter Speicherung (BECCS) sowie direkter Luftabscheidung und dauerhafter CO₂-Speicherung (DACCS) ausgeglichen werden.

6. Woher kommt das in DemoUpCARMA abgeschiedene CO₂?

Bei beiden Pilotprojekten (siehe Q3) wird biogenes CO₂ in der Abwasserreinigungsanlage [ARA Bern](#) aufgefangen, wo Biogas erzeugt und zu Biomethan veredelt wird. Das CO₂ wird dabei abgetrennt und in die Atmosphäre entlassen. Durch die Abscheidung und Speicherung dieses CO₂ wie für DemoUpCARMA werden negative Emissionen erzeugt.



7. Wie sicher ist es abgeschiedenes CO₂ in Beton zu speichern?

CO₂ wird im Beton mineralisiert. Dabei geht das CO₂ eine Verbindung mit dem Betongranulat ein und wird dann in fester Form gespeichert. Dies gilt als sichere Speichertechnik.

8. Was passiert mit dem im Beton gespeicherten CO₂, wenn ein Gebäude abgerissen wird?

Die durchschnittliche Lebensdauer moderner Schweizer Gebäude beträgt je nach Nutzung zwischen 70 und 100 Jahre. Im Allgemeinen kann der mit CO₂ angereicherte Beton recycelt und wiederverwendet werden. In jedem Fall verbleibt das CO₂, sobald es im Beton mineralisiert ist auf unbestimmte Zeit gespeichert, auch wenn das Gebäude abgerissen wird.

9. Wie wird das CO₂ in DemoUpCARMA abgeschieden und transportiert?

Das Biogas der Abwasserreinigungsanlage ARA Bern besteht aus einem Gasgemisch aus Methan (60%) und CO₂ (40 Vol%), das abgetrennt werden muss, um hochreines Methan, sogenanntes Biomethan, zu erhalten. Nach der Abtrennung wird das CO₂ in einen flüssigen Zustand gebracht. Das flüssige CO₂ wird dann in spezielle ISO-Tankcontainer (oder ISOtainer, siehe Q10) gefüllt und bei einer Temperatur von -35°C und maximal 22 bar zur Lagerstätte transportiert.

10. Wie wird das CO₂ im Rahmen des CCTS-Pilotprojekts nach Island transportiert?

Nach der CO₂-Abscheidung in der ARA Bern wird das CO₂ verflüssigt und in transportierbare, vakuumisolierte ISO-Container gefüllt, die das CO₂ bis zum Übergabepunkt (d. h. der Lagerstätte) in flüssigem Zustand halten können. Die ISOtainer werden per Lastwagen von der ARA Bern zum Bahnhof in Weil am Rhein (ca. 100 km) transportiert. Von dort aus werden die ISOtainer zunächst per Bahn nach Rotterdam (ca. 800 km) und dann per Schiff nach Reykjavik (ca. 2200 km) transportiert. Nach der Ankunft in Reykjavik werden die ISOtainer per LKW zur geologischen Lagerstätte gebracht.

Ein ISO-Tankcontainer oder ISOtainer ist für den sicheren weltweiten Transport von nicht gefährlichen und gefährlichen Flüssigkeiten per LKW, Schiff oder Bahn konzipiert. Die Abkürzung ISO steht für "International Organization for Standardization".



11. Wie wird das CO₂ im DemoUpCARMA CCTS-Pilotprojekt unterirdisch gelagert?

Beim DemoUpCARMA-Pilotprojekt wird das abgeschiedene CO₂ in Meerwasser gelöst und in Basalte (eine reaktive Gesteinsformation) zur dauerhaften mineralischen Speicherung injiziert. DemoUpStorage überwacht sowohl die Reaktion des isländischen Untergrunds auf die Injektion von im Meerwasser gelöstem CO₂ als auch den Mineralisierungsprozess.

Diese Speichermethode wurde bereits mit Süßwasser umgesetzt: Nach der Injektion reagiert das kohlenstoffhaltige Wasser mit der Gesteinsformation im Untergrund und setzt Kalzium, Magnesium und Eisen in den Wasserstrom frei. Mit der Zeit verbinden sich diese Elemente mit dem gelösten CO₂ und bilden stabile Karbonate.

Damit unterscheidet sich das Verfahren von anderen Methoden der CO₂-Speicherung, bei denen CO₂ in unterirdische Lagerstätten wie Sedimentbecken injiziert wird, wo das CO₂ in poröses Gestein eingelassen und von einer undurchlässigen Deckschicht eingeschlossen wird.

12. Warum wird das CO₂ für das CCTS-Pilotprojekt in Island und nicht in der Schweiz gespeichert?

Das Potenzial für die Speicherung von CO₂ in geologischen Formationen wurde im Rahmen des Projekts [SCCER-SoE](#) (Swiss Competence Center for Energy Research - Supply of Electricity) sowie des internationalen Forschungsprojekts [ELEGANCY](#) untersucht. Die Untersuchungen im Rahmen dieser Projekte haben gezeigt, dass das geologische Speicherpotenzial in der Schweiz begrenzt und in naher Zukunft erschliessbar ist. Daher ist es wichtig nach alternativen Speichermöglichkeiten im Ausland zu suchen.

Island verfügt sowohl über günstige geologische Eigenschaften (Basaltformationen) als auch über das Wissen und die Erfahrung, CO₂ unterirdisch zu speichern. In DemoUpCARMA wird Carbfix die CO₂-Injektion vornehmen und die dazu notwendigen Installationen und betreiben. Das isländische Unternehmen leistet seit 2012 Pionierarbeit bei der CO₂-Speicherung in Basalten und hat nachgewiesen, dass CO₂ innerhalb weniger Jahre nach der Injektion mineralisiert werden kann, indem es zu Stein wird. DemoUpCARMA will zusammen mit seinen Partnerprojekten DemoUpStorage und CO₂SeaStone die Machbarkeit der Injektion von in Meerwasser gelöstem CO₂ zur dauerhaften Speicherung untersuchen. Mit der Verwendung von

Meerwasser anstelle von Süßwasser liessen sich die negativen Umweltauswirkungen der Speichertechnologie, insbesondere der Wasserverbrauch, verringern. Darüber hinaus soll damit der Einsatz der Technik auf hoher See ermöglicht werden, wodurch weltweit eine grössere Speicherkapazität erschlossen werden könnte.

DemoUpCARMA berechnet auch den ökologischen Fussabdruck dieser Option, siehe Q16.

13. Ist es sicher, CO₂ unterirdisch zu lagern?

Die Risiken im Zusammenhang mit der unterirdischen Speicherung von CO₂ hängen von der gewählten geologischen Formation und dem Verfahren ab. Bislang wurde die CO₂-Speicherung in kommerziellem Massstab in tiefen salinen Aquiferen oder stillgelegten Öl- und Gasreservoirs durchgeführt. Derzeit sind weltweit etwa 30 Projekte in Betrieb, bei denen CO₂ in solchen Formationen gespeichert wird, und etwa 100 weitere Projekte sind in Planung. Diese erfolgreichen Projekte zeigen, dass eine sorgfältig konzipierte und betriebene unterirdische CO₂-Speicherung sicher ist. Jedes Projekt erfordert jedoch eine detaillierte und projektspezifische Risikobewertung. Zwei der Risiken, die bei Projekten zur Speicherung in Aquiferen sorgfältig bewertet werden müssen, sind das Risiko eines Entweichens von CO₂ durch Lecks in der geologischen Formation oder bestehenden Bohrlöcher sowie das Risiko induzierter Seismizität (siehe Q14) und/oder einer Oberflächenverformung.

In DemoUpCARMA und in den Partnerprojekten DemoUpStorage und [CO2SeaStone](#) wird eine Formation aus Basaltgestein in 300 bis 500 m Tiefe für die Speicherung genutzt. Diese von Carbfix entwickelte Technologie unterscheidet sich von den oben beschriebenen Ansätzen und bietet potenziell mehrere Vorteile im Hinblick auf die Sicherheit.

- Das CO₂ wird in Meerwasser gelöst und bei niedrigem Druck in hochdurchlässige und bereits mit Flüssigkeit gesättigte Formationen injiziert. Aufgrund der geringen Tiefe und der Tatsache, dass für die Injektion kein grosser Überdruck erforderlich ist, ist das Risiko von induzierter Seismizität gering.
- Das Risiko des Entweichens durch Lecks ist ebenfalls geringer, weil das CO₂ in Wasser gelöst ist und nicht als überkritisches Fluid (die derzeitige Praxis bei laufenden Projekten) injiziert wird.
- Zudem zeigten Laborexperimente, dass die Mineralisierung von in Wasser gelöstem CO₂, das in Basalte injiziert wird, viel schneller abläuft als bei der Injektion in tiefe saline Aquifere in Sedimentschichten. In Basalten wird das CO₂ innerhalb weniger Jahre zu Karbonaten mineralisiert und damit dauerhaft verfestigt, ein Prozess, der bei anderen Speicheroptionen Hunderte bis Tausende von Jahren dauert.

Eines der Hauptziele von DemoUpStorage ist es, die Flüssigkeitsausbreitung und die Mineralisierungsprozesse mittels geophysikalischer und geochemischer Überwachungsverfahren direkt in der geologischen Formation zu beobachten (in-situ). Dies wird einen wichtigen und unabhängigen Beitrag zur Risiko- und Sicherheitsbewertung, zu Überwachungsstrategien und zum Skalierungspotential künftiger CO₂-Speicherprojekte leisten.

14. Wie hoch ist das seismische Risiko des unterirdischen Reservoirs in Island?

Induzierte Seismizität wurde als Folge von Öl- und Gasförderungen, geothermischer Projekte, des Bergbaus oder in Zusammenhang mit Staudämmen beobachtet. Induzierte Seismizität stellt in Zusammenhang mit der CO₂-Speicherung an sich schon ein Risiko dar. Potenziell kann ein Erdbeben aber auch Lecks erzeugen, aus denen CO₂ austritt. Darüber hinaus kann das Auftreten von induzierten Beben die öffentliche Akzeptanz von CCS-Projekten, insbesondere von Projekten auf dem Festland, negativ beeinflussen.

Bislang gibt es wenige Berichte über kleinere induzierte Erdbeben in Zusammenhang mit der CO₂-Speicherung in salinen Aquiferen oder stillgelegten Reservoirs und keinen betreffend der Speicherung in Basalten.

In Island ist das Risiko induzierter Erdbeben bei der Injektion von in Meerwasser gelöstem CO₂ sehr klein, da die Injektionstiefe gering ist und die Überdrücke niedrig sind. Dennoch installiert der Schweizerische Erdbebendienst an der ETH Zürich in der Nähe der Injektionsstelle ein seismisches Netzwerk, mit dem Erdbeben ab einer Stärke von 0.5 beobachtet werden können.

15. Wer überwacht die Injektion des CO₂ des CCTS-Piloten in Island?

Als Verantwortliche für die Injektionsstelle werden Carbfix und die DemoUpStorage-Partnerin Eawag eine chemische Überwachung und eine Überwachung des CO₂-Flusses in speziellen Bohrlöchern durchführen, um die Effizienz der CO₂-Mineralisierung nach der Injektion zu messen. Darüber hinaus wird der Schweizerische Erdbebendienst an der ETH Zürich im Rahmen von DemoUpStorage ein seismisches Überwachungsnetz installieren (siehe F 14), um die seismische Aktivität zu überwachen. DemoUpStorage wird auch geophysikalische Messungen zwischen den Bohrlöchern durchführen, um die Migration und möglicherweise die Mineralisierung des injizierten CO₂ zu verfolgen.

16. Wie hoch ist der gesamte Kohlenstoff-Fussabdruck der beiden Piloten?

Um die Umweltauswirkungen sowie den tatsächlichen und endgültigen CO₂-Fussabdruck der beiden Pilotprojekte zu bewerten, wird ein sogenanntes Life Cycle Assessment, also eine Lebenszyklusanalyse durchgeführt. Dabei wird der gesamte Weg von der Abscheidung über den Transport bis hin zur Nutzung oder Speicherung des CO₂. Das beinhaltet beispielsweise die Energie, die für den Transport und die unterirdische Lagerung des CO₂ benötigt wird.