

CARBON DIOXIDE REMOVAL

Methoden der CO₂-Entnahme

Key Findings

- Die Pariser Klimaziele sind durch drastische Emissions-Reduktion noch umsetzbar.
- Die Erreichung des 1,5-Grad-Ziels ist notwendig, um dem Klimawandel und den damit verbundenen Risiken für Mensch und Natur entgegenzuwirken.
- Um in Deutschland bis 2045 Klimaneutralität zu erreichen, brauchen wir Carbon Dioxide Removal.
- Nur ein Portfolio an CO₂-Entnahme-Methoden ist hierbei zielführend.
- Viele Methoden müssen noch weiter erforscht und deren gesellschaftliche Akzeptanz gefördert werden.

Kontakt
**ExpertInnen der FAU
Erlangen-Nürnberg:**
Sofian Benniz
Anna-Lena Kirchner
Franziska Mehrbach
Lorenz Suda

AUSGANGSSITUATION

Warum Carbon Removal unabdingbar ist

Um dem Klimawandel entgegenwirken zu können, muss der globale CO₂-Ausstoß drastisch reduziert werden. Die internationale Staatengemeinschaft hat sich 2015 im **Paris Agreement** darauf geeinigt, die Erderwärmung bis 2100 auf **deutlich unter 2 Grad Celsius** zu begrenzen. Die Erwärmung darf sogar nur **1,5 Grad** betragen, um größere Klimaauswirkungen wie Extremwetterereignisse, eine Überschwemmung großer Landmassen oder globale Wasserknappheit zu vermeiden.

Mit unserem restlichen CO₂-Budget von **420 Mrd. Tonnen CO₂** wird eine Erwärmung von 1,5 Grad bei gleichbleibendem Emissionsausstoß bereits vor 2030 erreicht sein. Im Vergleich dazu: Eine 2-Grad-Erwärmung wäre spätestens im Jahr 2050 erreicht.

Key Message:

Um die globalen Klimaziele einhalten zu können, ist parallel zur CO₂-Vermeidung eine zweite Strategie zu verfolgen: **Die gezielte Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre mittels Carbon Dioxide Removal (CDR).**

Carbon Dioxide Removal (CDR), kurz Carbon Removal, beschreibt die Entnahme von atmosphärischem CO₂.

In einem ersten Schritt wird hierfür das CO₂ eingefangen (**Carbon Capture**). Nach dem Einfangen wird das Klimagas dann im Untergrund oder in Gestein langfristig gespeichert (**Carbon Capture and Storage, CCS**). Alternativ kann das CO₂ auch weiterverwendet und wirtschaftlich genutzt werden, zum Beispiel zur Herstellung von Zement oder Beton (**Carbon Capture and Utilization, CCU**) (vgl. Abb. 1).

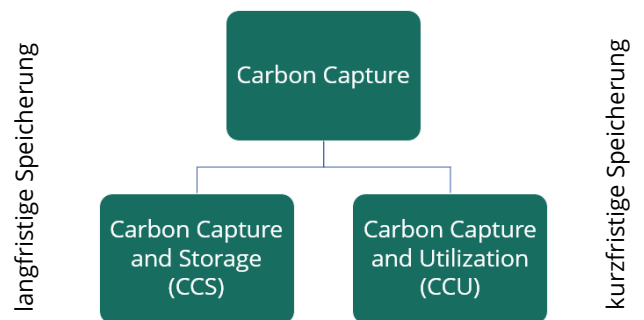



Abb. 1: Prozesskette der CO₂-Entnahme

Quelle: Eigene Darstellung


Um CO₂ mittels Carbon Capture einzufangen, werden bereits eine Reihe an Methoden erprobt.

METHODEN IM VERGLEICH


AUFFORSTUNG	
Die natürliche Aufnahme von CO ₂ durch Bäume (Photosynthese) soll durch gezielte Pflanzung und Kontrolle von Wäldern effizient genutzt werden (Kosten: 50\$/tCO ₂).	
	
Stärken: hohe gesellschaftliche Akzeptanz	Schwächen: Große Flächen notwendig → Nutzungskonflikte
Chancen: Speicherung bis zu 8 Mrd. tCO ₂ /a	Risiken: Temporär (ca. 200 Jahre) in DE nicht durchsetzbar (fehlende Flächen)

BECCS (BIOENERGY+CCS)	
Aus schnell wachsender Biomasse wird Energie gewonnen – das CO ₂ , das zuvor photosynthetisch aufgenommen wurde, wird dabei abgefangen und gelagert (Kosten: 100-200\$/tCO ₂).	
	
Stärken: hohes kumulatives Potenzial, hohe Akzeptanz	Schwächen: hoher Flächenbedarf und Wasserverbrauch
Chancen: Speicherung 2,4 - 11 Mrd. tCO ₂ /a, zusätzliche Energiegewinnung	Risiken: Nutzungskonflikte (Bedarf zu hoch), Monokulturen

ERHÖHUNG BODEN-KOHLLENSTOFFGEHALT	
Natürlicher CO ₂ -Speichererfolg von Bodenflächen wird durch landwirtschaftliche Maßnahmen quantitativ optimiert (Kosten: 0-100\$/tCO ₂).	
	
Stärken: keine Landnutzungskonflikte	Schwächen: Langfristiges Potenzial schwierig zu erwägen
Chancen: Speicherung 0,7 - 11 Mrd. tCO ₂ /a	Risiken: keine wissenschaftliche Erprobung, hohe Schwankungen

DIRECT AIR CAPTURE	
Mithilfe von Maschinen wird CO ₂ direkt aus der Umgebungsluft angesaugt und gebunden. (Kosten: 300-600\$/tCO ₂).	
	
Stärken: Geringer Platzbedarf, Anlagen überall möglich	Schwächen: sehr hoher Energiebedarf
Chancen: Unbegrenzt CO ₂ -Entnahme-Potenzial	Risiken: gesellschaftliche Akzeptanz, visuelle Beeinträchtigung

BESCHLEUNIGTE VERWITTERUNG	
Mineralien werden als Gesteinsmehl in Boden-/Wasserflächen eingetragen, wo natürliche CO ₂ -bindende Prozesse der Verwitterung beschleunigt werden (Kosten: 50-200\$/tCO ₂).	
	
Stärken: Entgegenwirken der Ozeanversauerung	Schwächen: Flächenverbrauch, Infrastruktur
Chancen: Speicherung 10 Mio - 15 Mrd. tCO ₂ /a	Risiken: Mögliche Freisetzung von Schwermetallen

OZEANDÜNGUNG	
Nährstoffe werden in die Meeresoberfläche eingetragen, um CO ₂ aufzunehmen, welches bei Absinken der Biomasse in die Tiefsee abgetragen wird (Kosten: 40-260\$/tCO ₂).	
	
Stärken: Großer Effekt auch bei wenig Nährstoffmengen	Schwächen: Riesige Ozeanflächen notwendig
Chancen: Speicherung 200 Mio. – 2 Mrd. tCO ₂ /a	Risiken: Überdüngung, temporär (max. 1000 Jahre)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Deutschlands Pfad zur Klimaneutralität

Key Message:

Mehrere CDR-Methoden gemeinsam sind als Portfolio zur CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre umzusetzen. Deutschland sollte besonders die Methoden **Direct Air Capture**, **Beschleunigte Verwitterung** und **Erhöhung des Boden-Kohlenstoffgehaltes** weiterverfolgen; zusätzliche Carbon Dioxide Removal-Methoden sind zu erforschen.

2022



Meilenstein 1 (Potenzielle Kosten: 365 Millionen €)

Kommunikation der CO₂-Problematik

- Bewusstseinsförderung durch Kampagnen zur Senkung des CO₂-Fußabdrucks
- gesellschaftliche Etablierung von Carbon Dioxide Removal (CDR)

Forschung und Ausarbeitung von CDR-Methoden

- Ausbau universitärer Forschung durch neue Professuren und Studiengänge
 - Gründung eines Helmholtz-Zentrums für CO₂-Entnahme

Etablierung politischer Grundlagen für Carbon Capture and Storage

- Grundlegende Diskussionen zur EU Richtlinie 2009/31/EG

2025



Meilenstein 2 (Potenzielle Kosten: 250 Millionen €)

Großflächiger Ausbau von CDR-Methoden

- Subventionen für bereits vorhandene CDR-Methoden

Weitere Forschung und Entwicklung

- Finanzielle Anreize für Start-Ups im Bereich Carbon Dioxide Removal

Systematisches Monitoring der Entwicklung

2035



Meilenstein 3 (Potenzielle Kosten: 200 Millionen €)

Etablierung eines CDR-Systems (in Einklang mit Umweltzielen)

- Bestandteil im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Nukleare Sicherheit
- Konstante CO₂-Entnahme zur Reduzierung der deutschen CO₂-Bilanz
- jährlich mind. 10 Mrd. Tonnen CO₂-Entnahme für Deutschland

Ziel: Netto-Null-Emissionen bzw. negative Emissionen

- Reduktion des CO₂-Verbrauchs auf ein notwendiges Minimum
- Ausgleich restlicher Emissionen durch CDR-Methoden
- Senken der CO₂-Konzentration auf vorindustrielles Niveau durch CO₂-Entnahme

Bis 2045



Das 1,5-Grad-Ziel nicht vorbeiziehen lassen, Reduktionspfade nutzen!

Einen Fahrplan zur CO₂-Entnahme schaffen!

Deutschland braucht neue, innovative Ideen!