

FACTSHEET | JUNI 2026

CO₂-Entnahme – unverzichtbar für das Erreichen der Klimaziele

Wissenschaftliche Einblicke von CDRterra zur CDR Experience Tour 2026 in Bayern

Bei der Begrenzung des Klimawandels hat die Reduktion der Treibhausgasemissionen oberste Priorität. Um jedoch das Ziel der Treibhausgasneutralität zu erreichen, benötigen wir zusätzlich Verfahren, die der Atmosphäre dauerhaft Kohlendioxid (CO₂) entziehen.

Doch wie viel CO₂ muss künftig tatsächlich entnommen werden? Mit welchen Methoden könnte dies gelingen? Wie reagiert die Politik auf diese Herausforderung? Und welche Chancen und Herausforderungen zeigen sich am Beispiel Bayern?



Deutschland hat sich verpflichtet, bis 2045 treibhausgasneutral zu werden. Bayern verfolgte dieses Ziel ursprünglich bis 2040 – mit der Novelle des Bayerischen Klimaschutzgesetzes wurde es jedoch ebenfalls auf 2045 angepasst. Treibhausgasneutralität bedeutet, dass nur noch so viele von Menschen verursachte Treibhausgase in die Atmosphäre entweichen dürfen, wie ihr vor Ort oder an anderer Stelle wieder entnommen werden.

Oberste Priorität hat dabei **die Reduktion der Emissionen**: Sie bleibt der zentrale Hebel jeder Klimaschutzstrategie. Doch selbst bei ambitionierter Minderung verbleiben Restemissionen, etwa aus der Landwirtschaft (Nutztierhaltung und Düngemittel), aus industriellen Prozessen sowie aus Luftverkehr und Schwerlasttransport. Diese Emissionen lassen sich technisch nur schwer oder nur zu sehr hohen Kosten vermeiden.

Warum Emissionsminderung allein nicht ausreicht

Um Treibhausgasneutralität zu erreichen, müssen die verbleibenden Restemissionen durch die Entnahme einer gleichwertigen Menge CO₂ aus der Atmosphäre und deren langfristige Speicherung ausgeglichen werden. Dieses Verfahren wird als CO₂-Entnahme (englisch: Carbon Dioxide Removal, CDR) bezeichnet. CDR ersetzt die Emissionsminderung

Was gilt als CO₂-Entnahme?

Der Weltklimarat definiert CDR als menschliche Aktivitäten, in deren Folge Kohlendioxid aus der Atmosphäre entnommen und dauerhaft gespeichert wird – in Produkten, im geologischen Untergrund, im Ozean, in Böden und Vegetation an Land oder in Form stabiler chemischer Verbindungen. Drei Grundprinzipien müssen erfüllt sein:

- Das entnommene Kohlendioxid muss aus der Atmosphäre stammen.
- Die Speicherung muss langfristig sein, sodass das CO₂ nicht zeitnah wieder in die Atmosphäre gelangt.
- Die Entnahme muss durch menschliche Aktivitäten und zusätzlich zu den natürlichen Aufnahmeprozessen der Erde erfolgen³.

also nicht, sondern ergänzt sie, wenn sich Emissionen nicht vollständig vermeiden lassen. Der Weltklimarat zeigt, dass in modellierten Minderungspfaden bis 2100 erhebliche Mengen an CO₂-Entnahme erforderlich werden. Je nach Temperaturziel und Szenario liegen die kumulierten Entnahmen einzelner CDR-Verfahren im Zeitraum 2020 bis 2100 im Bereich von mehreren zehn bis mehreren hundert Milliarden Tonnen CO₂¹.



Wie CO₂ aus der Atmosphäre entfernt werden kann

CO₂ kann auf unterschiedliche Weise aus der Atmosphäre entfernt und über längere Zeit gespeichert werden. Für die CO₂-Entnahme an Land stehen biologische, chemische und geochemische Verfahren zur Verfügung. Sie unterscheiden sich unter anderem hinsichtlich Reifegrad, Flächen- und Energiebedarf, Umfang und Dauerhaftigkeit der Speicherung sowie der zu erwartenden Kosten. Während einige Verfahren bereits praktisch erprobt werden, befinden sich andere noch in der Entwicklung.

Biologische Verfahren nutzen natürliche Prozesse der Kohlenstoffaufnahme und -speicherung in Pflanzen und Böden. Chemische und geochemische Verfahren binden CO₂ dagegen mithilfe zusätzlicher technischer Prozesse oder speichern es in stabilen mineralischen Verbindungen.

Um CO₂ in größerem Maßstab zu entnehmen und Risiken zu begrenzen, wird ein breites Portfolio verschiedener Verfahren benötigt. Keine Methode kann die Aufgabe allein lösen.

Biologische Verfahren



Aufforstung, Wiederaufforstung & Wiederherstellung der Waldfunktionen

Das Aufwachsenlassen neuer Bäume bindet zusätzliches Kohlendioxid aus der Atmosphäre – durch ihre Äste und Stämme bieten Wälder im Vergleich zu krautigen Pflanzen relativ große und langlebige CO₂-Speicher. Auch in Totholz und Waldboden kann CO₂ gespeichert werden. Aufforstung bedeutet die Schaffung neuer Wälder. Wiederaufforstung beschreibt die Aufforstung von Flächen, die in der Vergangenheit gerodet wurden. Die Wiederherstellung der Waldfunktionen heißt, die Schädigung von Wäldern wieder umzukehren. Schädigungen treten durch menschliche Störungen wie Holzeinschlag oder Umwandlung in artenarme Monokulturen auf und können durch natürliche Störungen wie Dürren und Schadinsekten verstärkt werden.



Agroforstwirtschaft

Landwirtschaftliche Kulturen mit Gehölzen zu kombinieren, kann in Vegetation und Böden Kohlenstoff binden. Das CO₂-Entnahmepotenzial von Agroforstsystemen ist unter anderem abhängig von der Baumart und der Bepflanzungsdichte der Gehölze, aber auch davon, wie die Acker- oder Graslandpflanzen mit den Gehölzen interagieren.



CO₂-negative Forstwirtschaft

Wie viel CO₂ ein bestehender Wald binden und speichern kann, wird auch durch seine Bewirtschaftung beeinflusst – zum Beispiel dadurch, welche Artenzusammensetzung vorliegt, wann und in welchem Umfang die Holzernte stattfindet und in welcher Weise das Holz anschließend verwendet wird.



Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung (Bioenergy with Carbon Capture and Storage – BECCS)

Diese Methode umfasst zwei Prozesse: Pflanzen binden beim Wachsen CO₂. Durch Verbrennung dieser Biomasse wird sie in Energie (Wärme, Strom oder Kraftstoffe) umgewandelt, wodurch teils fossile Energieträger ersetzt werden. Zu einer langfristigen Kohlenstoffentnahme führt die Methode aber erst durch die Abscheidung des bei der Verbrennung freigesetzten CO₂ und seiner Speicherung in geologischen Formationen oder langlebigen Produkten.



Pflanzkohle

Pflanzkohle wurde bereits in prähistorischer Zeit zur Verbesserung der Bodenqualität eingesetzt, stellt aber auch eine Methode zur Kohlenstoffentnahme dar. Sie entsteht durch die Verkohlung von Biomasse in einer sauerstoffarmen Umgebung bei hoher Temperatur (Pyrolyse). Diese enthält große Teile des zuvor gebundenen Kohlenstoffs und kann ihn jahrhundertlang speichern. Meist wird sie auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht.



Renaturierung von Mooren

Landwirtschaftliche Kulturen mit Gehölzen zu kombinieren, kann in Vegetation und Böden Kohlenstoff binden. Das CO₂-Entnahmepotenzial von Agroforstsystemen ist unter anderem abhängig von der Baumart und der Bepflanzungsdichte der Gehölze, aber auch davon, wie die Acker- oder Graslandpflanzen mit den Gehölzen interagieren.



Kohlenstoff-sequestrierung in Böden

Böden nehmen Kohlenstoff durch Pflanzenbiomasse auf und geben diesen durch die Zersetzung durch Mikroorganismen in Form von CO₂ wieder ab. Durch eine erhöhte Zufuhr von Biomasse und eine Verringerung des Abbaus kann der Bodenkohlenstoffspeicher vergrößert werden. Hierfür gibt es unterschiedliche Bodennutzungs- und -bewirtschaftungsmethoden wie veränderte Fruchtfolgen, Zwischenfrüchte, das Liegenlassen von Ernterückständen oder weniger intensive Bodenbearbeitung.

Chemische und geochemische Verfahren



Direkte CO₂-Abscheidung aus der Atmosphäre mit langfristiger Speicherung (Direct Air Carbon Capture and Storage – DACCS)

CO₂ wird über technische Anlagen direkt aus der Atmosphäre gefiltert. Anschließend kann es gasförmig oder verflüssigt in geologische Lagerstätten eingebracht und dort für lange Zeiträume gespeichert werden.



CO₂-negative Baustoffe

Bei der Herstellung von Baustoffen wie Zement oder Stahl wird viel CO₂ ausgestoßen. Der Ersatz dieser Materialien durch CO₂-negative Baustoffe kann diese Emissionen vermeiden sowie zusätzliches Kohlendioxid aus der Atmosphäre binden und speichern. Dazu gehören sowohl langlebige Holzprodukte als auch Materialsysteme, zum Beispiel aus Gestein und Carbonfasern.



Beschleunigte Verwitterung von Gesteinen (Enhanced Rock Weathering – ERW)

Bei der geologischen Verwitterung von Gesteinen wird der Atmosphäre CO₂ entzogen – die natürliche Verwitterung ist aber ein langsamer geochemischer Prozess. Durch Abbau von Gesteinen, deren Verarbeitung zu Gesteinsmehl und anschließendes Ausbringen auf landwirtschaftliche Böden oder im Meer wird dieser Prozess extrem beschleunigt. Je nach Gesteinsart, Mahlgrad des Gesteinsmehl und anderen Faktoren kann der Atmosphäre unterschiedlich viel CO₂ pro Tonne Gestein entzogen werden.



Künstliche Photosynthese

Bei der künstlichen Photosynthese soll mithilfe eines photoelektrochemischen Verfahrens CO₂ aus der Atmosphäre aufgenommen und in kohlenstoffreiche Produkte wie Oxalat oder Kohlenstoffflocken umgewandelt werden. Diese könnten anschließend langfristig eingelagert werden.



Das CDRterra-Szenario bis 2045: wie ein Hochlauf aussehen könnte

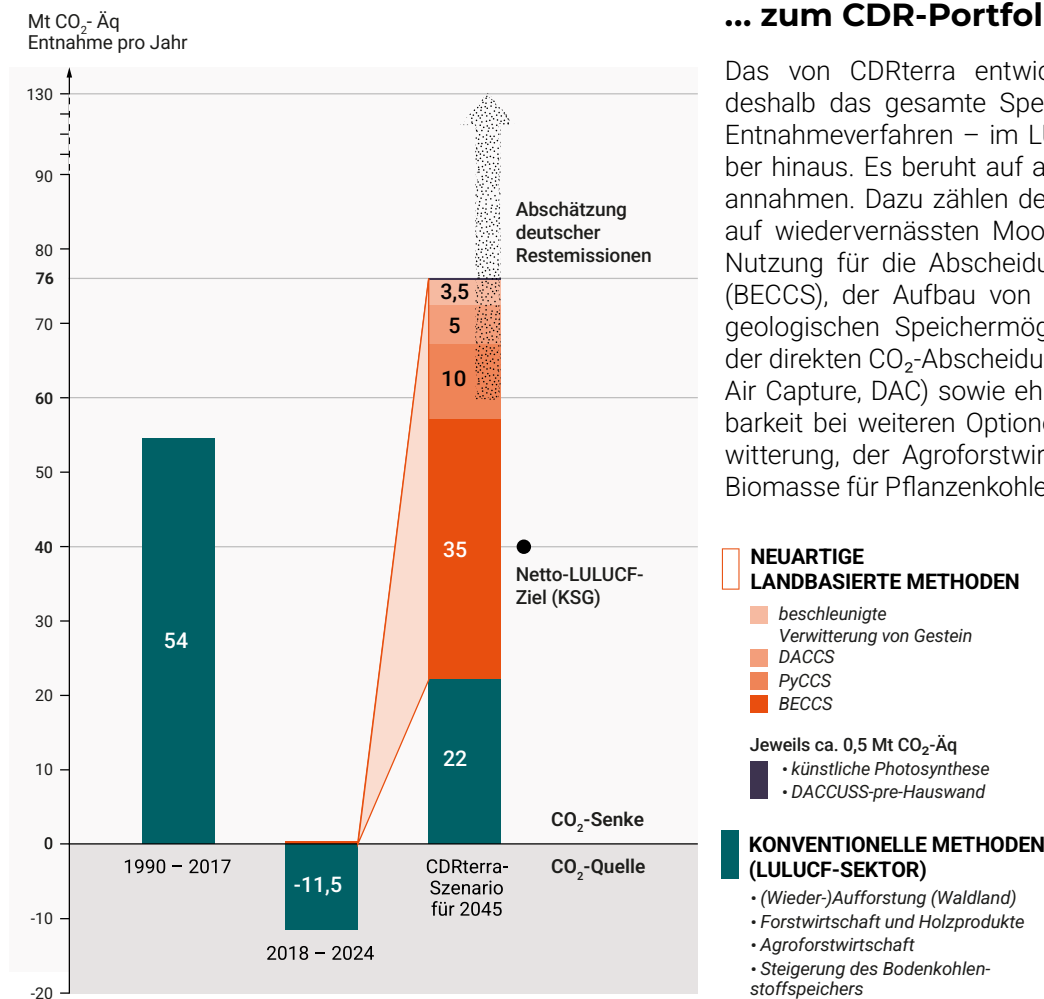
In Deutschland werden 2045 pro Jahr noch mindestens 60 bis 130 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente (CO₂-Äq) an Restemissionen verbleiben, selbst wenn Energie- und Abfallwirtschaft nahezu emissionsfrei wären. Um Treibhausgasneutralität zu erreichen, müssen diese vollständig durch CDR ausgeglichen werden. Ein Szenario von CDRterra zeigt, wie dies unter äußerst ambitionierten Annahmen gelingen könnte. Es beschreibt, in welcher Größenordnung neun ausgewählte CDR-Verfahren in den Jahren 2030, 2045 und 2060 eingesetzt werden könnten.

Vom natürlichen Klimaschutz ...

Bereits im Einsatz sind natürliche Kohlenstoffsinken im Landnutzungssektor (englisch: Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF). Bis 2018 erfolgte die CO₂-Entnahme in Deutschland fast ausschließlich über diese, vor allem durch den Biomassezuwachs in Wäldern. Doch ihre Entwicklung hat sich in den vergangenen Jahren umgekehrt. Seitdem haben sich diese Senken von 54 Millionen Tonnen (Mt) CO₂ pro Jahr zu Quellen von 11,5 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr entwickelt, etwa durch Waldschäden infolge von Dürren und Schädlingen. Dadurch werden auch die Emissionen aus den landwirtschaftlich genutzten, entwässerten Moorflächen nicht mehr weitgehend kompensiert – der LULUCF-Sektor ist damit auch netto zu einer deutlichen Quelle von CO₂ geworden. Laut Klimaschutzgesetz (KSG) soll dieser bis 2045 aber mindestens 40 Millionen Tonnen CO₂ netto pro Jahr entziehen. Mit der aktuellen Politik wird laut Projektionsbericht des Umweltbundesamts dieses Ziel jedoch deutlich verfehlt.

... zum CDR-Portfolio der Zukunft

Das von CDRterra entwickelte Szenario berücksichtigt deshalb das gesamte Spektrum möglicher landbasierter Entnahmeverfahren – im LULUCF-Sektor, aber auch darüber hinaus. Es beruht auf ambitionierten Transformationsannahmen. Dazu zählen der Anbau von Biomasse – auch auf wiedervernässten Mooren – und deren energetische Nutzung für die Abscheidung und Speicherung von CO₂ (BECCS), der Aufbau von CO₂-Transportinfrastruktur und geologischen Speichermöglichkeiten, die Hochskalierung der direkten CO₂-Abscheidung aus der Luft (englisch: Direct Air Capture, DAC) sowie ehrgeizige Annahmen zur Verfügbarkeit bei weiteren Optionen wie der beschleunigten Verwitterung, der Agroforstwirtschaft oder der Nutzung von Biomasse für Pflanzenkohle.



Um Treibhausgasneutralität bis 2045 zu erreichen, müssen wir nicht nur Emissionen senken, sondern auch dringend CO₂-Entnahme hochskalieren. Grafik: Eve Barlier und frauwolter.de/CDRterra auf Basis von NID 2025/Thünen-Institut, Merfort et al (2023) und Abschätzungen aus dem CDRterra-Programm.

Wie CO₂-Entnahme Teil der Klimapolitik wird

Damit CO₂-Entnahme künftig in größerem Maßstab eingesetzt werden kann, braucht es klare Regeln für Finanzierung und Zertifizierung, aber auch für Transport und Speicherung. In den vergangenen Jahren sind auf europäischer und nationaler Ebene wichtige Grundlagen geschaffen worden.

Den übergeordneten Rahmen bildet in Deutschland das Klimaschutzgesetz (KSG). Es schreibt das Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2045 fest und sieht für die Zeit danach eine netto-negative Treibhausgasbilanz vor. Gleichzeitig soll der Landnutzungssektor bis 2045 netto mindestens 40 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr binden. Erstmals unterscheidet das KSG dabei ausdrücklich zwischen natürlichen Senken im Landnutzungssektor (§ 3a) und technischen Senken. Mit § 3b verpflichtet es die Bundesregierung, auch für technische Senken – etwa Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung (BECCS) sowie direkte CO₂-Abscheidung aus der Luft mit Speicherung (DACCS) – Zielwerte für 2035, 2040 und 2045 festzulegen. Die konkreten Werte sollen per Rechtsverordnung bestimmt werden und stehen derzeit noch aus.

CO₂ abscheiden, nutzen und speichern

Für schwer vermeidbare Emissionen aus Industrie und Abfallwirtschaft setzt die Bundesregierung auf Carbon Management. Dazu gehören die CO₂-Abscheidung und -Nutzung (englisch: Carbon Capture and Utilization, CCU) sowie die CO₂-Abscheidung und -Speicherung (englisch: Carbon Capture and Storage, CCS). Die Carbon-Management-Strategie (CMS) schafft dafür den politischen Rahmen und beschreibt, wie CO₂ aus Emissionsquellen künftig abgeschieden, transportiert, genutzt und gespeichert werden kann.

Ein wichtiger Baustein ist die Novelle des Kohlendioxid-Speicherungs- und Transportgesetzes (KSptTG), die Ende 2025 in Kraft trat. Sie ermöglicht erstmals die dauerhafte kommerzielle Speicherung von CO₂ im industriellen Maßstab und schafft die Grundlage für CO₂-Transportleitungen. Die Speicherung unter dem Meeresboden ist grundsätzlich zulässig, während Bundesländer eine Speicherung an Land per Landesrecht ermöglichen können.

Auch die Europäische Union treibt den Ausbau der notwendigen Infrastruktur voran. Mit dem „Net-Zero Industry Act“ (NZIA) sollen bis 2030 Speicherkapazitäten für mindestens 50 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr geschaffen werden. Die deutsche KSptTG-Novelle setzt diese europäische Vorgabe um.

Restemissionen ausgleichen

Für den Ausgleich von Restemissionen wird derzeit die Langfriststrategie Negativemissionen (LNe) erarbeitet. Sie soll die Rolle von CO₂-Entnahme für den Klimaschutz konkretisieren und langfristige Ziele für Negativemissionen festlegen. Sie bildet damit die Grundlage, um die noch offenen Zielwerte für technische Senken nach § 3b KSG zu konkretisieren. Die LNe befindet sich aktuell in der Ressortabstimmung und soll diese Lücke noch im Jahr 2026 schließen. Parallel dazu fördert das Aktionsprogramm Natürlicher

Klimaschutz (ANK) Maßnahmen zum Schutz und zur Stärkung natürlicher Kohlenstoffsinken. Dazu gehören unter anderem die Wiedervernässung von Mooren, der Erhalt und Umbau von Wäldern sowie Maßnahmen zum Humuserhalt und -aufbau in landwirtschaftlichen Böden.

Auf europäischer Ebene entsteht mit dem „Carbon Removal and Carbon Farming Certification Framework“ (CRCF) zudem erstmals ein gemeinsamer Rahmen für die Zertifizierung von CO₂-Entnahmen. Er umfasst natürliche und technische Verfahren und soll sicherstellen, dass Entnahmen nach einheitlichen Kriterien nachgewiesen und bewertet werden können.

Ein Blick nach Bayern

Wie sich die Herausforderungen und Chancen der CO₂-Entnahme konkret auf regionaler Ebene darstellen, zeigt das Beispiel Bayern. Der Freistaat verfügt über große Wald-, Agrar- und Moorflächen, eine starke Industrie und eine vielfältige Forschungslandschaft.

Für das Zieljahr 2040 weist die Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) für Bayern abscheidbare CO₂-Mengen von rund 10,4 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr aus. Gemeint sind damit potenziell abzuschheidende CO₂-Mengen aus relevanten Punktquellen, für die künftig Transport, Nutzung oder Speicherung organisiert werden müssten². Selbst in einem Szenario mit sehr weitgehender CO₂-Nutzung verbleiben laut FfE noch rund 5,4 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr, die gespeichert oder aus Bayern exportiert werden müssten. Diese Zahlen beziehen sich nicht ausschließlich auf CO₂-Entnahme durch BECCS und DACCS, sondern auch auf die Abscheidung und Speicherung schwer vermeidbarer Emissionen durch CCS. Sie verdeutlichen aber, dass Bayern beim Aufbau einer CO₂-Infrastruktur vor erheblichen Aufgaben steht. Von dieser Infrastruktur würden perspektivisch auch technische CO₂-Entnahmeverfahren wie BECCS und DACCS profitieren.

Gleichzeitig bietet Bayern günstige Voraussetzungen für verschiedene Formen der CO₂-Entnahme. Wald- und Moorflächen sowie landwirtschaftlich genutzte Böden bieten Potenziale für die langfristige Speicherung von Kohlenstoff. Geologische Untersuchungen weisen zudem auf mögliche Speicheroptionen in salinen Aquiferen im Voralpenraum hin. Um diese Möglichkeiten zu nutzen, entstehen auch auf Landesebene erste politische Rahmenbedingungen. Mit dem Aktionsplan CCU/CCS hat Bayern 2025 einen strategischen Rahmen für Carbon Management vorgelegt. Das Bayerische Klimaschutzgesetz und das Bayerische Klimaschutzprogramm adressieren darüber hinaus, ähnlich wie das ANK auf Bundesebene, Maßnahmen zum Moorschutz, zur nachhaltigen Waldbewirtschaftung sowie zu Humuserhalt und -aufbau in landwirtschaftlichen Böden.

Aus der Forschung in die Praxis

CO₂-Entnahme wird zunehmend von einem Forschungsfeld zu einer gesamtgesellschaftlichen Gestaltungsaufgabe. Welche Verfahren wir künftig wo einsetzen wollen, in welchem Umfang wir sie nutzen wollen und welche Rahmenbedingungen dafür geschaffen werden müssen, wird die Klimapolitik der kommenden Jahrzehnte maßgeblich prägen. Die CDR Experience Tour macht die momentane Entwicklung sichtbar und zeigt, wo Forschung, Politik und Praxis bereits heute an möglichen Lösungen arbeiten. CDRterra erforscht, welche Potenziale, Grenzen und Zielkonflikte mit den verschiedenen Ansätzen verbunden sind und welchen Beitrag sie zur Treibhausgasneutralität leisten können.



Endnoten

- 1 IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, Working Group III, Summary for Policymakers, S. 25: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SummaryForPolicymakers.pdf
- 2 vbw/FfE, 2024: Analyse CO₂-Infrastrukturbedarf für Bayern, Studienupdate November 2024
- 3 ebd., S. 36: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SummaryForPolicymakers.pdf



IMPRESSUM

Projektleitung: Prof. Dr. Julia Pongratz,

julia.pongratz@lmu.de

Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München

Redaktion: Karin Adolph, Dr. Felix Havermann, Paul Wunderlich

Design und Grafiken: Ève Barlier / Juni 2026

Gefördert aus Mitteln des Nachhaltigkeitsfonds der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München im Rahmen des Projekts CDRSynDia.



ÜBER CDRTERRA

CDRterra bündelt die Forschung zur CO₂-Entnahme an Land in Deutschland. In zwei Förderphasen untersuchen insgesamt 27 Verbundprojekte, welche Beiträge unterschiedliche Verfahren leisten können, welche Risiken und Zielkonflikte bestehen und unter welchen Bedingungen eine Umsetzung möglich ist. Das begleitende Synthese- und Transferprojekt CDRSynTra wertet die Ergebnisse vergleichend aus und macht sie für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft nutzbar.

 <https://cdrterra.de>

 <https://bsky.app/profile/cdrterra.bsky.social>

 <https://www.linkedin.com/company/cdrterra>

CDR Experience Tour in Kooperation mit

rem·ove  DVNE