



Analyse

Marktchancen für neuartige CO₂-Entnahmen in Deutschland

Impressum

Herausgeber:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin

Tel.: +49 30 66 777-0

Fax: +49 30 66 777-699

E-Mail: info@dena.de

Internet: www.dena.de

Autorinnen und Autoren:

Kilian Rützel

Martin Albicker

Pascal Hader-Weinmann

Nicole Herold

Leon Podehl

Dr. Caron Pomp

Jérôme Seibert

Tibor Siering

Dr. Benedikt Walker

Redaktion:

Oliver Jorzik

Bildnachweis:

Titelbild und Grafiken: Heimrich & Hannot GmbH

Stand:

07/2026

Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

Die Inhalte werden von Menschen ausgearbeitet und geprüft. Bei der Erstellung dieser Publikation wurde für die folgenden Anwendungen KI verwendet: Recherche, Kürzen und Zusammenfassen von Inhalten, sprachliches Optimieren.

Bitte zitieren als:

Deutsche Energie-Agentur (dena, 2026): Analyse: Marktchancen für neuartige CO₂-Entnahmen in Deutschland. Berlin.

Im Auftrag des:



Bundesministerium
für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

Inhalt

Executive Summary	4
1 Es gibt einen großen Zukunftsmarkt für neuartige CO₂-Entnahmen.....	7
2 Für Deutschland bieten sich wirtschaftliche Chancen	18
3 Das wirtschaftliche Potenzial lässt sich nur mit staatlicher Unterstützung realisieren.....	25
4 Investitionsförderung ist ein geeignetes Einstiegsinstrument	36
5 Die bestehende Förderlandschaft deckt Investitionen in neuartige Entnahmeprojekte noch nicht ausreichend ab	39
Abbildungsverzeichnis.....	45
Tabellenverzeichnis.....	46
Literaturverzeichnis	47
Abkürzungen	54

Executive Summary

Es gibt einen großen Zukunftsmarkt für neuartige CO₂-Entnahmen

Die Klimapolitik der Bundesregierung ist gemäß Klimaschutzgesetz (KSG) und mit Blick auf das Ziel Klimaneutralität bis 2045 klar auf eine weitgehende Minderung der CO₂-Emissionen in Deutschland ausgerichtet. Dennoch wird es auch 2045 und danach noch unvermeidbare Restemissionen in Deutschland geben, vor allem in der Industrie und in der Landwirtschaft.

Um diese Restemissionen durch CO₂-Entnahmen (engl. Carbon Dioxide Removal, CDR) auszugleichen und nach dem Jahr 2050, wie im KSG vorgesehen, klimapositiv zu werden, ist ein deutlicher Ausbau sowohl von natürlichen als auch von neuartigen CO₂-Entnahmen erforderlich.

Neuartige CO₂-Entnahmen müssen um mehrere Größenordnungen skaliert werden, damit sie ihren Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten können, denn sie befinden sich derzeit noch überwiegend in einem frühen Stadium ihrer Entwicklung und Anwendung. So wurden zwischen 2019 und Juni 2026 neuartige Entnahmen von nur rund 28.000 Tonnen in Deutschland realisiert, das heißt tatsächlich physisch durchgeführt und nachgewiesen.

Der deutsche Markt für neuartige CO₂-Entnahmen lässt jedoch einen starken Wachstumstrend erkennen: Zwischen 2024 und 2025 stiegen die jährlichen Vorverkäufe¹ deutscher Unternehmen von rund 25.000 auf 197.000 Tonnen CO₂ und damit fast um das Siebenfache.

Ebenso ist eine zunehmende technologische Diversifizierung erkennbar: Während die bislang realisierten neuartigen Entnahmen in Deutschland ausschließlich aus Pflanzkohleprojekten stammen, weisen die vorverkauften Mengen eine größere Zahl an Entnahmetechnologien auf. So machten im Jahr 2025 die direkte CO₂-Abscheidung und -Speicherung aus der Umgebungsluft (engl. Direct Air Carbon Capture and Storage, DACCS), Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung (engl. Bioenergy with Carbon Capture and Storage, BECCS) und die beschleunigte Verwitterung den Großteil der verkauften Zertifikate deutscher Unternehmen aus.

Diese Diversität spiegelt sich auch in der deutschen Projektlandschaft wider. Insgesamt konnte die Deutsche Energie-Agentur (dena) 61 neuartige Entnahmeprojekte identifizieren, davon 39 bestehend und 22 geplant. Sie decken die meisten neuartigen Entnahmemethoden ab, konzentrieren sich bisher jedoch weitgehend auf Pilot- oder First-of-a-Kind-Projekte unterhalb der großskaligen Anwendung.

Für Deutschland bieten sich wirtschaftliche Chancen

Zur Erreichung der nationalen und globalen Klimaziele werden zukünftig hohe Markterlöse durch CO₂-Entnahmen prognostiziert: BCG und DVNE (2024) rechnen für Deutschland mit einem CDR-induzierten Wirtschaftspotenzial zwischen 35 und 70 Mrd. Euro im Jahr 2050. Auch die dena hält – selbst bei konservativer Schätzung – jährliche Markterlöse von 7 bis 16 Mrd. Euro zur Kompensation von inländischen Restemissionen im Jahr 2045 für realistisch. Auf globaler Ebene erwarten McKinsey und Company (2023) im Jahr 2050 sogar Erlöse von bis zu 1 Bio. Euro.

Deutschland ist technologisch und industriell gut positioniert, um am erforderlichen Wachstum neuartiger CO₂-Entnahme zu partizipieren. Das Land gehört international zu den führenden Standorten bei Patenten für CO₂-

¹ Vorverkäufe sind Entnahmen, die bereits vertraglich zugesichert wurden, deren Realisierung jedoch erst in der Zukunft erfolgt. Sie können als Indikator für zukünftig realisierte Entnahmen dienen. Die vorverkauften Mengen unterscheiden sich entsprechend von den aktuell realisierten.

Entnahmetechnologien, insbesondere bei BECCS und DACCS, die beide als aussichtsreiche technologische Ansätze gelten. Rund 150 deutsche Unternehmen sind entlang der Wertschöpfungskette von CO₂-Entnahmen aktiv – von der Projektentwicklung und dem Anlagenbetrieb über den Maschinen- und Anlagenbau bis zur Zertifizierung und zum digitalen Monitoring.

Die Entwicklung neuartiger CO₂-Entnahmemethoden knüpft dabei direkt an bestehende industrielle Stärken Deutschlands an, insbesondere im Maschinen- und Anlagenbau, der mit rund 360 Mrd. Euro Jahresumsatz, einer hohen Exportquote und rund 1,3 Mio. Beschäftigten eine zentrale Rolle in der deutschen Industrie einnimmt. Vor dem Hintergrund eines stark wachsenden globalen Marktes bietet sich daher neben dem Aufbau eines heimischen Marktes auch das Potenzial, Technologien, Anlagen und Dienstleistungen zu exportieren.

Das wirtschaftliche Potenzial lässt sich nur mit staatlicher Unterstützung realisieren

Das derzeit größte Hindernis bei der Realisierung, also der Investition in und dem Aufbau von neuartigen CO₂-Entnahmen, ist ein Mangel an verlässlicher Nachfrage. CO₂-Entnahmen stellen – ähnlich wie Emissionsminderungen – ein öffentliches Gut dar. Während für Emissionsminderungen eine marktwirtschaftliche Steuerungswirkung über den Europäischen Emissionshandel (engl. European Union Emissions Trading System, EU-ETS) geschaffen wurde, sind CO₂-Entnahmen bislang nicht in den ordnungsrechtlichen Rahmen des EU-ETS oder anderer Instrumente integriert. Noch liegt ein klassisches Marktversagen vor: Trotz des gesellschaftlichen Nutzens von CO₂-Entnahmen bestehen für Unternehmen aktuell kaum ökonomische Anreize, in sie zu investieren.

Mehrere Entwicklungen deuten jedoch darauf hin, dass in Zukunft eine verlässlichere Nachfrage entstehen kann: Bis Mitte 2026 möchte die EU-Kommission einen Vorschlag vorlegen, wie dauerhafte CO₂-Entnahmen in den EU-ETS integriert werden können. Die Bestrebungen der Kommission verdeutlichen ein politisches Bekenntnis zur Notwendigkeit neuartiger CO₂-Entnahmen auf EU-Ebene und zur Schaffung entsprechender nachfrageseitiger Instrumente. Ebenso hat die EU damit begonnen, mit der Verordnung für die Zertifizierung von CO₂-Entnahmen und kohlenstoffspeichernder Landbewirtschaftung (engl. Carbon Removals and Carbon Farming Regulation, CRCF) einen einheitlichen Qualitätsstandard für qualitativ hochwertige CO₂-Entnahmen zu schaffen. Hierdurch können sich das Vertrauen und die Zahlungsbereitschaft potenzieller Käufer im freiwilligen Kohlenstoffmarkt (engl. Voluntary Carbon Market, VCM) in Zukunft deutlich erhöhen. Für dauerhafte Entnahmen (BECCS, DACCS, Pflanzkohle) wurden Anfang 2026 bereits Zertifizierungsmethodologien in Form eines Delegierten Rechtsakts erlassen. Für weitere Entnahmemethoden soll dies bis 2027 erfolgen.

Neben der Nachfrageseite sehen sich Projektbetreiber auch mit angebotsseitigen Herausforderungen konfrontiert. Deren Ausprägung variiert zwischen den Entnahmemethoden. Es lassen sich jedoch einige Gemeinsamkeiten erkennen: Mit Ausnahme von Pflanzkohle weisen die meisten neuartigen Entnahmemethoden derzeit mittlere Technologiereifegrade (engl. Technology Readiness Level, TRL) zwischen 4 und 8 auf. Weitere Hürden sind hohe Kosten und – im Fall von Entnahmemethoden, die auf der CO₂-Abscheidung und -Speicherung (engl. Carbon Capture and Storage, CCS) basieren – eine fehlende CO₂-Infrastruktur. First Mover gehen daher erhebliche Investitionsrisiken ein, von denen erst der zukünftige Markt profitieren wird. In der frühen Markthochlaufphase ist staatliche Unterstützung erforderlich und aussichtsreich, damit ausstehende Investitionsentscheidungen getroffen und Lern- und Skaleneffekte realisiert werden können.

Investitionsförderung ist ein geeignetes Einstiegsinstrument

Da eine regulatorisch gesicherte Nachfrage erst mittelfristig entstehen kann, ist zunächst eine staatliche Förderung nötig, um die Realisierung kapitalintensiver Projekte zu ermöglichen und private Mittel zu mobilisieren. Auf diesem Wege erreichte Fortschritte ermöglichen oft auch erst eine marktwirtschaftliche regulatorische Einbindung. Viele neuartige CO₂-Entnahmemethoden sind durch hohe Anfangsinvestitionen und erhebliche Betriebskosten geprägt. Investitionszuschüsse senken einen wesentlichen Teil dieser Einstiegshürden. Sie reduzieren den

Eigenkapitalbedarf und erleichtern die Kreditfinanzierung. Hierdurch tragen sie zur Finanzierungsfähigkeit bei und verringern Projektrisiken. Investitionszuschüsse haben sich in anderen Technologiebereichen, etwa bei den Reallaboren der Energiewende, bereits als wirksam erwiesen.

Da sich die verschiedenen neuartigen Entnahmemethoden in ihrer Technologiereife unterscheiden, erscheint es sinnvoll, bei einem zukünftigen Förderprogramm zwischen Zuschüssen für Investitionen und Zuschüssen für Forschung und Entwicklung (F&E) zu unterscheiden. Erstere bieten sich vor allem für Technologien nahe der Marktreife an, um Pilot- und Demonstrationsprojekte zu realisieren. Letztere kommen insbesondere für weniger marktreife Methoden in Frage, um zu einer Erhöhung des TRL beizutragen.

Für einen Markthochlauf ist perspektivisch ein Instrumentenmix erforderlich, der die Aspekte Förderung, Nachfrageanreiz und Preisabsicherung kombiniert. In der frühen Phase sollten Investitionszuschüsse und F&E-Förderung dominieren. Begleitend können Ankaufprogramme und später CO₂-Differenzverträge (engl. Carbon Contracts for Difference, CCfD) die Investitionssicherheit stärken und den Übergang zur Skalierung absichern. Langfristig sollte jedoch eine verlässliche Nachfrage – etwa durch eine Integration in den EU-ETS oder durch sonstige regulatorische Vorgaben – geschaffen werden, damit Anbieter unabhängig von staatlicher Unterstützung wirtschaften können.

Die bestehende Förderlandschaft deckt Investitionen in neuartige Entnahmeprojekte noch nicht ausreichend ab

Während Deutschland bereits erheblich in die Grundlagenforschung investiert, besteht eine Lücke bei der Überführung neuartiger Entnahmemethoden in den industriellen Markthochlauf. Die aktuelle Förderlandschaft deckt neuartige CO₂-Entnahmen bislang nicht systematisch ab.

Bestehende Instrumente wie die Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (BIK) fördern neuartige CO₂-Entnahmen bisher nur in einzelnen Anwendungen, die deutschen CCfD bisher nicht. Im Vordergrund steht jeweils die Minderung fossiler Emissionen in der Produktion. Bei CO₂-Entnahmen stellen Negativemissionen jedoch in der Regel den eigentlichen Output dar.

Neuartige Entnahmemethoden mit geringeren TRLs und höheren Kosten konkurrieren in den bestehenden Programmen auch mit bereits stärker etablierten Minderungsverfahren.

Zur Überwindung des sogenannten „Valley of Death“ zwischen Forschung und breiter Marktanwendung ist daher ein breiter angelegtes Förderprogramm für neuartige CO₂-Entnahmen erforderlich. Hierdurch kann Raum für Innovation durch CDR-internen Wettbewerb geschaffen werden, der zur Skalierung neuartiger Entnahmekapazitäten beiträgt.

1 Es gibt einen großen Zukunftsmarkt für neuartige CO₂-Entnahmen

Zur Erreichung der deutschen Klimaziele sind sowohl natürliche als auch neuartige CO₂-Entnahmen (engl. Carbon Dioxide Removal, CDR) erforderlich, um unvermeidbare Restemissionen zu kompensieren und netto-negative Emissionen zu erreichen. Grundsätzlich besteht hierfür ein ausreichendes biophysikalisches Potenzial. Jedoch erfüllen die Senken ihre Funktion derzeit nicht hinreichend: Aktuell ist der Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (engl. Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF) bilanziell eine Treibhausgasquelle und das Angebot neuartiger CO₂-Entnahmeprojekte in Deutschland ist bislang sehr gering. Die Unternehmen der Branche stehen jedoch bereit, kurzfristig neue Projekte in signifikantem Umfang zu entwickeln.

Um die deutschen Klimaziele zu erreichen, müssen natürliche und neuartige Entnahmen Restemissionen kompensieren

Aktuelle Klimaneutralitätsstudien für Deutschland gehen davon aus, dass selbst bei ambitionierten Minderungs- und Transformationspfaden bis 2045 unvermeidbare Restemissionen verbleiben (Prognos 2022).

Ohne Maßnahmen zur Kompensation und langfristigen Speicherung von Restemissionen kann das Ziel der Klimaneutralität² nicht erreicht bzw. gehalten werden. Die Klimaneutralitätsstudien sehen deshalb eine bedeutende Rolle für CO₂-Entnahmen. Dafür kommen verschiedene Arten von Entnahmemethoden in Frage. Eine Einteilung von CO₂-Entnahmemethoden kann zunächst auf Basis des Klimaschutzgesetzes (KSG) erfolgen: Das KSG differenziert zwischen LULUCF (§ 3a KSG) und technischen Senken (§ 3b KSG). Alternativ ist eine Differenzierung nach natürlichen und neuartigen Senken möglich³ (siehe Abbildung 1). Natürliche Senken bilden eine Untergruppe der LULUCF-basierten Entnahmemethoden, für die etablierte Berichterstattungsmethodiken des Weltklimarats (engl. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) bestehen und die bereits in nationalen Treibhausgasinventaren erfasst werden. Neuartige Senken umfassen alle weiteren Entnahmemethoden, die nicht unter natürliche Senken fallen. Sie beinhalten technische Prozessschritte wie CO₂-Abscheidung, Pyrolyse oder das Mahlen von Gestein.

² Klimaneutralität wird hier als Synonym zur Netto-Treibhausgasneutralität verwendet, das bedeutet eine ausgeglichene Klimabilanz, in der Restemissionen von Negativemissionen kompensiert werden („Netto-Null“).

³ Dieses Begriffsverständnis lehnt sich an den „State of Carbon Dioxide Removal“-Bericht an (Smith et al. 2023). Er unterscheidet zwischen konventioneller (engl. conventional) und neuartiger (engl. novel) CO₂-Entnahme.

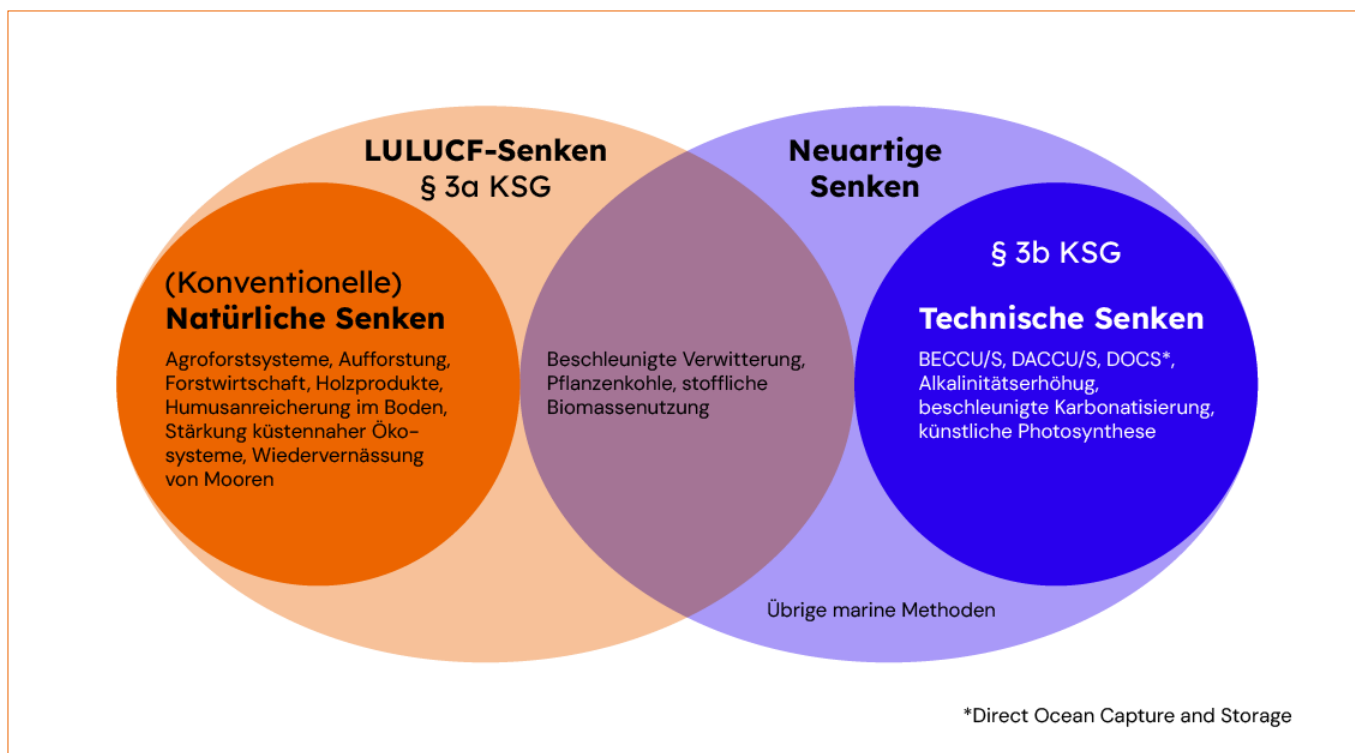


Abbildung 1 Unterscheidung von CO₂-Entnahmemethoden in natürliche und neuartige Senken (eigene Darstellung)

Gemeinsam müssen natürliche und neuartige Senken die unvermeidbaren Restemissionen ausgleichen, um Netto-Treibhausgasneutralität zu erreichen. Dabei ist weder davon auszugehen, dass ein einzelner Senkentyp diese Aufgabe allein übernehmen kann, noch können die jeweiligen Potenziale unabhängig voneinander betrachtet werden. Vielmehr bedarf es eines komplementären Ansatzes, der natürliche und neuartige Entnahmemethoden integriert und unter Berücksichtigung der besonderen Bedeutung des Beitrags des Sektors Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft strategisch aufeinander abstimmt. Im folgenden Abschnitt wird daher dargestellt, wie groß das Potenzial natürlicher und neuartiger CO₂-Entnahme grundsätzlich ist.

Das CO₂-Entnahmepotenzial zur Erreichung der deutschen Klimaziele ist vorhanden

Das theoretische Gesamtpotenzial für CO₂-Entnahmen in Deutschland wird einer Studie des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) zufolge auf eine Spannweite von 109 bis zu 188 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr geschätzt (Strefler et al. 2023). Carbon Gap und Sweco (2026) identifizieren sogar eine – theoretische – Obergrenze von bis zu 258 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr für Deutschland im Jahr 2045, erachten davon aber nur rund 47 bis 95 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr als realisierbar (Carbon Gap und Sweco 2026).

Die Spannweiten der theoretischen Schätzungen ergeben sich aus unterschiedlichen Annahmen zur nachhaltigen Biomasseverfügbarkeit, gesellschaftlichen Akzeptanz und technologischen Entwicklung sowie zu den Kosten neuartiger CO₂-Entnahmemethoden. Niedrigere Werte basieren dabei auf vorsichtigen Annahmen, beispielsweise hinsichtlich der verfügbaren Flächen, der Kosten und der gesellschaftlichen Akzeptanz. Daraus ergeben sich geringere Ausbaupfade. Im Gegensatz dazu setzen höhere Werte einen ambitionierten Ausbau natürlicher Senken sowie eine schnelle Skalierung technischer CO₂-Entnahmen voraus.

Es wird deutlich, dass in Deutschland die THG-Neutralität und sogar netto-negative THG-Emissionen erreicht werden können. Allerdings sind Negativemissionen in der von den Studien aufgezeigten Größenordnung nur unter

großen Anstrengungen und mit entsprechenden Kosten realisierbar, eine ambitionierte Minderung der Emissionen ist daher unverzichtbar und primär erforderlich.

Zwischen den unterschiedlichen CO₂-Entnahmemethoden bestehen Wechselwirkungen insbesondere aus konkurrierenden Flächen- und Biomassenutzungen: So kann etwa die verstärkte Bereitstellung von Biomasse für Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung (engl. Bioenergy with Carbon Capture and Storage, BECCS) die Verfügbarkeit von Reststoffen für Pflanzenkohle oder die stoffliche Biomasseverwendung beeinflussen. Die herangezogenen Studien berücksichtigen solche Interdependenzen durch integrierte Modellierungen von Flächen, Stoffströmen und Nachhaltigkeitsrestriktionen. Innerhalb der neuartigen Entnahmemethoden weisen insbesondere Pflanzenkohle, BECCS, die direkte CO₂-Abscheidung und -Speicherung aus der Umgebungsluft (engl. Direct Air Carbon Capture and Storage, DACCS) sowie ozeanbasierte Methoden die größten Potenziale auf (jedoch mit unterschiedlichen technologischen Unsicherheiten, siehe Kapitel 3). Bei den natürlichen Entnahmemethoden entfallen die höchsten Beiträge auf den Wald sowie auf den Ausbau von Agroforstsystemen.

In Deutschland stößt der LULUCF-Sektor derzeit mehr Treibhausgase aus, als er bindet; das Angebot neuartiger CO₂-Entnahme ist bislang sehr klein

Um die Klimaziele bis 2045 zu erreichen, müssen sowohl natürliche als auch neuartige Senken deutlich ausgebaut werden: Der LULUCF-Sektor benötigt eine Trendumkehr, um von seiner aktuellen Rolle als Netto-Emittent wieder zu einer Treibhausgassenke zu werden. Neuartige Methoden müssen dagegen eine massive Steigerung ihrer Kapazitäten erreichen.

Der LULUCF-Sektor war in Deutschland im Jahr 2025 bilanziell keine Senke, sondern eine Treibhausgasquelle, die netto rund 27 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente ausgestoßen hat (UBA 2026). Hauptursachen sind die geschwächte Senkenleistung der Wälder infolge von Dürre, Hitze und Schädlingsbefall sowie anhaltende Emissionen aus entwässerten Moor- und organischen Böden. Hinzu kommt die intensive landwirtschaftliche Nutzung der Böden, die die Kohlenstoffspeicherung in Biomasse und Böden mindert. Dem Erhalt und Ausbau der natürlichen Senken widmet sich das Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz.

Parallel dazu wurden Analysen der dena zufolge von deutschen Unternehmen zwischen 2019 und Juni 2026 neuartige CO₂-Entnahmen von zunächst nur rund 28.000 Tonnen in Deutschland realisiert⁴, das heißt tatsächlich physisch durchgeführt und nachgewiesen (siehe Infobox unten). Sie stammen ausschließlich von 16 Unternehmen, die Pflanzenkohle produzieren. Berücksichtigt man zusätzlich CO₂-Entnahmen, die von deutschen Unternehmen nicht im Inland, sondern im Ausland realisiert wurden, beläuft sich die Summe auf rund 31.000 Tonnen neuartiger CO₂-Entnahme.⁵ Davon wurden bislang nur etwa 18.000 Tonnen an Entnahmezertifikaten stillgelegt, das heißt dem Handel entzogen, während die Differenz zu den bereits realisierten Entnahmen – also rund 13.000 Tonnen – noch gehandelt werden kann.

Darüber hinaus haben deutsche Anbieter zwischen 2019 und Juni 2026 CO₂-Entnahmen im Umfang von insgesamt 240.000 Tonnen (vor-)verkauft. Die Differenz zwischen realisierten und (vor-)verkauften Entnahmen spiegelt die in den nächsten Jahren zu erwartende bereits kontrahierte Entnahme wider und deutet auf ein erhebliches

⁴ Stichtag der Datenerfassung: 1. Juni 2026

⁵ Von den rund 3.000 Tonnen neuartiger CO₂-Entnahme, die deutsche Unternehmen im Ausland durchgeführt haben, stammen 660 Tonnen aus Projekten zur beschleunigten Verwitterung und 550 Tonnen aus Projekten der Entnahmemethode „Biomass Direct Storage“. Der Rest stammt aus Pflanzenkohle-Projekten.

Wachstum deutscher Anbieter hin – jedoch gemessen an den klimapolitisch notwendigen Mengen weiterhin in begrenztem Umfang.⁶

Begriffsverständnis: Entnahmen auf dem freiwilligen Kohlenstoffmarkt

Da neuartige Entnahmen bislang nicht im nationalen THG-Inventar erfasst werden, liegen hierfür keine amtlichen Statistiken vor. Marktanalysten bereiten jedoch Daten über die Menge an Zertifikaten für neuartige Entnahmen auf dem freiwilligen Kohlenstoffmarkt (engl. Voluntary Carbon Market, VCM) auf, die eine Markteinschätzung ermöglichen. Die dena orientiert sich in dieser Marktanalyse am Begriffsverständnis der Datenbank CDR.fyi. Dort werden die folgenden Kategorien unterschieden:

Realisierte Entnahmen (engl. delivered): Entnahmen, die bereits physisch durchgeführt und nachgewiesen wurden. Hierzu zählen auch Entnahmen, deren Zertifikate bereits stillgelegt wurden (siehe unten).

(Vor-)verkaufte Entnahmen (engl. contracted): Gesamtmenge aller Entnahmen, die bereits vertraglich zugesichert wurden. Diese Menge enthält die bereits realisierten Entnahmen. Hinzu kommen Vorverkäufe, also Entnahmen, deren Realisierung zu einem festgelegten Preis in der Zukunft vereinbart wurde.

Stillgelegte Entnahmen (engl. retired): Realisierte Entnahmen, die sich ein Unternehmen bereits auf seine THG-Bilanz angerechnet hat. Die Zertifikate dieser Entnahmen werden dem Markt entzogen und können nicht mehr gehandelt werden.

Der freiwillige Kohlenstoffmarkt ist zentral für den Hochlauf neuartiger Entnahmen, seine Komplexität trägt aktuell jedoch noch zur Zurückhaltung von Käufern bei

Die Vergütung von neuartigen CO₂-Entnahmen erfolgt im Moment fast ausschließlich über den freiwilligen Kohlenstoffmarkt. Daher ist eine Betrachtung des VCM zentral, um den Markt für neuartige CO₂-Entnahmen zu analysieren.

Auf dem VCM können Projekte zur Emissionsvermeidung oder CO₂-Entnahme handelbare CO₂-Zertifikate generieren. Die Zertifizierung erfolgt durch staatliche oder private Akteure, die teils eigene Qualitätsstandards für die Überwachung, Berichterstattung und Verifikation (engl. Monitoring/Measurement, Reporting and Verification, MRV) entwickeln. Die Preise für VCM-Zertifikate variieren stark, abhängig von der Art des Projekts, von der Qualität des Zertifikats sowie von Angebot und Nachfrage (siehe Kapitel 3).

Der Markt für Entnahmezertifikate ist bislang stark fragmentiert und dezentral organisiert. Eine Vielzahl unterschiedlicher Register, Zertifizierungsstandards und Handelsplattformen übernimmt entweder die Qualitätssicherung von CO₂-Entnahmezertifikaten oder ihre Vermittlung. Beispiele hierfür sind Standards und Register wie Puro.earth, Verra und Gold Standard sowie Marktplätze wie Patch, Supercritical oder Carbonfuture.

⁶ Falls ein Projekt mit vorverkauften Entnahmen scheitert, hängen die Folgen von der konkreten Vertragsgestaltung und der Verteilung des Projektrisikos ab. Bei klassischen Offtake-Verträgen erfolgt die Zahlung erst bei nachgewiesener Realisierung. In diesem Fall können Verträge beendet werden, ohne dass der Käufer Schadenersatz für nicht realisierte Tonnen geltend macht (siehe zum Beispiel Frontier Climate (2025)). Bei stärker vorfinanzierten, subventionsähnlichen Modellen können dagegen Meilensteinzahlungen, Rückzahlungs- oder Rückforderungsmechanismen sowie andere Bedingungen vorgesehen werden, um die Entwicklungsrisiken zwischen Fördergeber und Projektentwickler zu verteilen. In diesen Modellen ist jedoch prinzipiell eine (Teil-)Auszahlung schon vor Projektbeginn vorgesehen (siehe zum Beispiel Frontier Climate (2026a)).

Zwar veröffentlichen einige dieser Akteure Projekt- und Zertifizierungsdaten; Informationen zu tatsächlichen Transaktionsvolumen, Preisen und Vertragskonditionen sind jedoch nur teilweise oder gar nicht öffentlich verfügbar.

Ein erheblicher Teil der Zertifikate wird nicht über offene Handelsplätze, sondern über bilaterale B2B-Verträge (Business-to-Business) vermarktet. In solchen Offtake- oder Vorverkaufsverträgen werden Preise individuell ausgehandelt und selten veröffentlicht. Etwa die Hälfte der verkauften VCM-Zertifikate wird von anonymen Akteuren genutzt und stillgelegt (Allied Offsets 2023). Gleichzeitig befinden sich viele Anbieter – insbesondere im Bereich neuartiger CO₂-Entnahmen – noch in frühen Entwicklungs- und Skalierungsphasen und sind daher häufig über Venture- oder Eigenkapital finanziert. Einnahmen aus dem Verkauf von Zertifikaten spielen in vielen Fällen bislang eine untergeordnete Rolle für die Finanzierung der Unternehmen. Teilweise werden Zertifikate daher auch zu Preisen verkauft, die unter den Vollkosten liegen oder durch Investitionskapital quersubventioniert sind, etwa im Kontext von frühen Marktentwicklungsinitiativen wie Frontier Climate, einem (Vor-)Käufer von Entnahmezertifikaten aus den USA.

Der VCM ist bisher stark von verschiedenen Standards privater Anbieter geprägt, deren Anforderungen teilweise deutlich variieren. Unternehmen sehen sich dadurch dem Risiko ausgesetzt, dass erworbene Zertifikate nachträglich als qualitativ unzureichend bewertet oder öffentlich als Form des „Greenwashing“ kritisiert werden. Vor diesem Hintergrund wird die Schaffung eines einheitlichen Zertifizierungsrahmens, beispielsweise in Form der europäischen CRCF-Verordnung, (Carbon Removals and Carbon Farming Regulation) zunehmend als Voraussetzung für die Skalierung hochwertiger CO₂-Entnahmen angesehen (siehe Kapitel 3).

Die fragmentierte Marktstruktur und die nur begrenzt verfügbaren Transaktionsdaten führen dazu, dass Marktanalysen teilweise unterschiedliche und mitunter widersprüchliche Zahlen ausweisen. Dies liegt unter anderem daran, dass Studien unterschiedliche Definitionen (beispielsweise nur Entnahmezertifikate im Gegensatz zu allen VCM-Zertifikaten inklusive Vermeidung) oder Datenquellen verwenden. Nach Einschätzung der dena ist CDR.fyi die derzeit umfassendste Datenbank hinsichtlich neuartiger CO₂-Entnahmen, auf der Informationen aus verschiedenen Registern sowie von einzelnen Projektbetreibern gebündelt werden. Dabei handelt es sich um eine unabhängige, öffentlich zugängliche Plattform, die Daten zu CO₂-Entnahmeprojekten, ausgestellten Zertifikaten und – soweit verfügbar – Markttransaktionen systematisch aggregiert und aufbereitet. In der vorliegenden Marktanalyse bezieht sich die dena deshalb regelmäßig auf CDR.fyi. Hierbei werden Projekte ausländischer Unternehmen in Deutschland nicht erfasst, da sie in der Datenbank (noch) nicht landesspezifisch lokalisiert werden. Die mit Verweis auf CDR.fyi angegebenen Daten, zum Beispiel zu verkauften Entnahmezertifikaten, können deshalb als konservative Schätzung verstanden werden.

Trotz der bestehenden Herausforderungen hat der VCM in den vergangenen Jahren bereits ein erhebliches Wachstum ermöglicht. Insbesondere in Nordamerika und Europa wurden auf Basis freiwilliger Nachfrage erste großskalige Projekte für neuartige CO₂-Entnahmen entwickelt und finanziert. Der VCM übernimmt damit eine wichtige Vorreiter- und Finanzierungsfunktion für neuartige Entnahmen und kann weiterhin dabei helfen, perspektivisch zu einem selbsttragenden Markt für CO₂-Entnahmen zu gelangen. Die nachfolgenden Abschnitte skizzieren die bisherige Marktentwicklung neuartiger CO₂-Entnahmen auf dem VCM in Deutschland.

Deutsche CDR-Unternehmen profitieren von ausländischer Nachfrage und produzieren zunehmend auch im Ausland

Die von deutschen Unternehmen verkaufte Menge an Zertifikaten für neuartige Entnahmen ist in den letzten Jahren deutlich gestiegen, insbesondere da im Jahr 2025 rund 197.000 Tonnen (vor-)verkauft wurden (siehe Abbildung 2). Das Wachstum wird zunehmend von einzelnen Großprojekten getragen und geht mit einer Diversifizierung der Entnahmemethoden über Pflanzenkohle hinaus einher. So wurden im Jahr 2025 beispielsweise 96.000 Tonnen an BECCS-Zertifikaten von Reverion vorverkauft. Im selben Jahr konnte InPlanet Vorverkäufe von rund 31.000 Tonnen

CO₂-Entnahme aus Projekten zur beschleunigten Verwitterung erzielen, während Phlair einen Vorverkauf von etwa 58.000 Tonnen CO₂-Entnahme aus DACCS tätigte. Diese basieren maßgeblich auf Abnahmeverträgen mit einzelnen Großkäufern wie Frontier Climate.

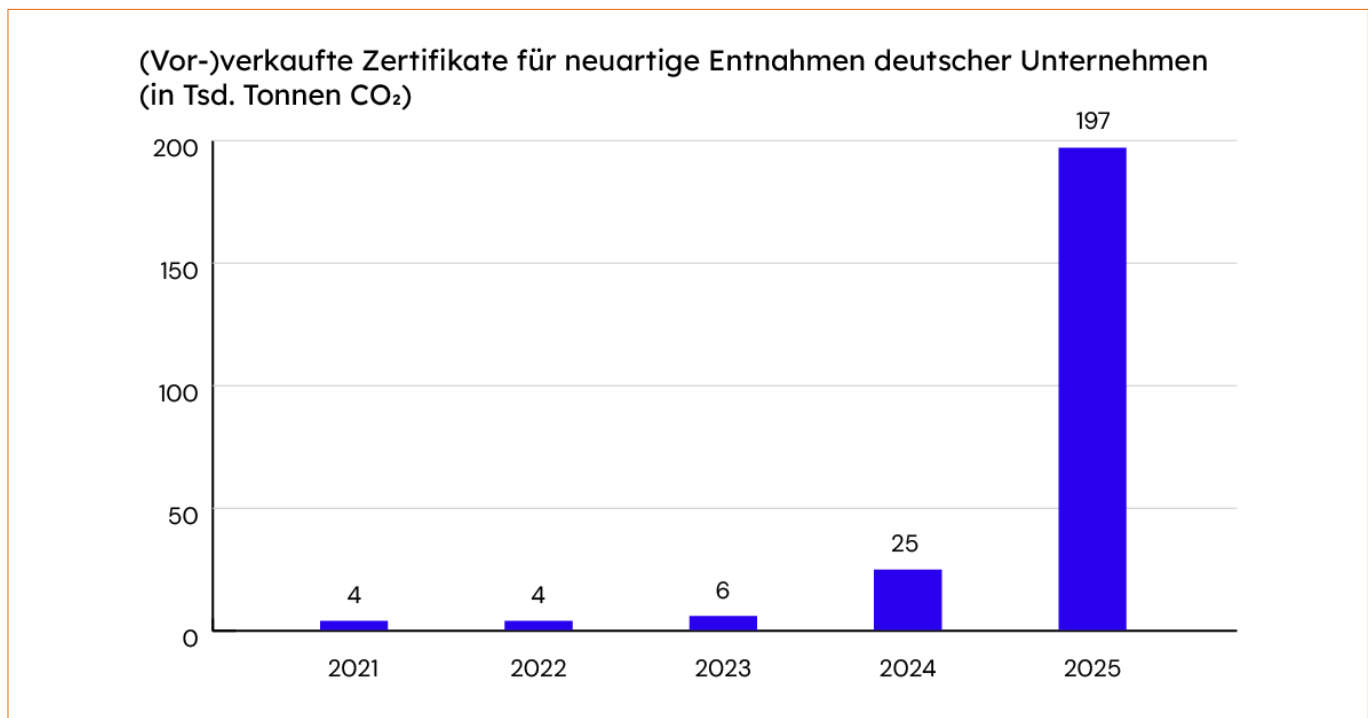


Abbildung 2 (Vor-)verkaufte Zertifikate für neuartige Entnahmen deutscher Unternehmen (Projekte im In- und Ausland)
(eigene Darstellung basierend auf Daten von CDR.fyi)

Deutsche Anbieter von Entnahmezertifikaten setzen sich dabei teilweise in globalen, kompetitiven Ausschreibungsprozessen durch und sind somit auf globaler Ebene wettbewerbsfähig. So tätigte Frontier Climate Vorkäufe von deutschen Unternehmen im Umfang von 96.949 Tonnen CO₂, von denen 96.255 in Deutschland realisiert werden sollen:

- 255 Tonnen CO₂ aus einer Entnahmeanlage von Planeteers in Hamburg, mit geplanter Entnahme im Zeitraum 2026 bis 2028 (Frontier Climate 2026b)
- 96.000 Tonnen CO₂ aus BECCS-Anwendungen des bayerischen Unternehmens Reverion, mit geplanter Entnahme zwischen 2027 und 2030 (Frontier Climate 2026b)
- 694 Tonnen CO₂ aus Projekten zur beschleunigten Verwitterung des Münchner Start-ups InPlanet mit geplanter Entnahme bis 2028 in Brasilien (Frontier Climate 2026b)

Einige deutsche Unternehmen planen große CO₂-Entnahmeprojekte im Ausland. So entwickeln InPlanet und Phlair Teile ihrer Projekte zum Beispiel in Brasilien, respektive in den Niederlanden und Kanada. Dies deutet auf bessere bzw. verbesserte Rahmenbedingungen im Ausland hin, beispielsweise geeignetere klimatische Bedingungen (hinsichtlich der beschleunigten Verwitterung), günstigere Energiepreise (hinsichtlich DACCS und BECCS) oder eine förderliche Regulatorik (zum Beispiel hinsichtlich der Pyrolyse an Klärschlammanlagen) (Experteninterview).

Auch die (Vor-)Käufe und Stilllegungen einiger deutscher Unternehmen zeigen, dass ein Teil der deutschen Nachfrage nach Zertifikaten für neuartige Entnahmen durch Projekte im Ausland bedient wird. Gründe können Kostenvorteile, frühere Projektverfügbarkeiten oder qualitative Anforderungen, wie zum Beispiel die geologische Speicherung, sein. Hierbei gilt es zu berücksichtigen, dass diese Entnahmen nur nach offiziellen Transfers nach Artikel 6 des Übereinkommens von Paris inklusive entsprechender Corresponding Adjustments der Treibhausgasinventare des Herkunftslandes auf die deutschen Klimaziele anrechenbar sind.

Zu welchen Anteilen deutsche Unternehmen Zertifikate für neuartige Entnahmen aus inländischen oder ausländischen Projekten erwerben, lässt sich derzeit nicht belastbar quantifizieren, da aggregierte Daten nach Herkunft der Projekte fehlen. Einzelne Beispiele größerer Käufe von Entnahmezertifikaten deuten jedoch darauf hin, dass deutsche Käufer in erheblichem Umfang Zertifikate aus dem Ausland kaufen:

- 2025: Vorkauf der SAP von 37.000 Tonnen des Schweizer Unternehmens Climeworks. Sie sollen bis 2034 durch DACCS, Pflanzenkohle und beschleunigte Verwitterung erzeugt werden (Climeworks 2026b).
- 2024: Stilllegung von Zertifikaten durch BMW in Höhe von 25.000 Tonnen aus Pflanzenkohleprojekten der deutschen Projektentwickler Atmosfair und Firstclimate in Indien und Kanada (Green.Earth 2025)
- 2023: Vorkauf der Lufthansa von 40.000 Tonnen der DACCS-Anlage STRATOS in Texas (Lufthansa Group 2023)

Ungeachtet hiervon zeigen bereits in Deutschland realisierte Projekte das Potenzial zur Erzielung von neuartigen CO₂-Entnahmen im Inland. Neben Projekten, die bereits CO₂-Entnahmezertifikate verkaufen konnten, existiert eine Vielzahl weiterer Projekte in Deutschland, die sich noch in einem frühen Entwicklungsstadium befinden oder sich mit der Technologieentwicklung befassen. Für eine Einschätzung des weiteren Marktentwicklungspotenzials ist somit eine Betrachtung der Projektlandschaft erforderlich. Da öffentlich zugängliche, aktuelle Projektdatenbanken derzeit nicht vorliegen, hat die dena begonnen, die bestehende Projektlandschaft systematisch zu erfassen.

Realisierte und geplante Projekte in Deutschland zeigen Entwicklungspotenzial

Die dena konnte bei ihrer Recherche insgesamt 61 neuartige Entnahmeprojekte in Deutschland identifizieren, davon 39 in Betrieb und 22 in Entwicklung (siehe Abbildung 3). Diese Projekte umfassen eine Spannweite von Machbarkeitsstudien bis hin zum kommerziellen Betrieb. Darüber hinaus sind viele weitere CCU/S-Projekte (Carbon Capture and Utilization/Storage) in Betrieb oder Planung, bei denen teilweise ähnliche Technologien zum Einsatz kommen sollen (etwa zur Abscheidung von CO₂ aus Rauchgas oder zur Nutzung von abgeschiedenem CO₂). Sie werden hier nicht näher betrachtet. Im Folgenden wird der inländische Projektentwicklungsstand je Entnahmemethode zusammengefasst und in die internationale Projektlandschaft eingeordnet.

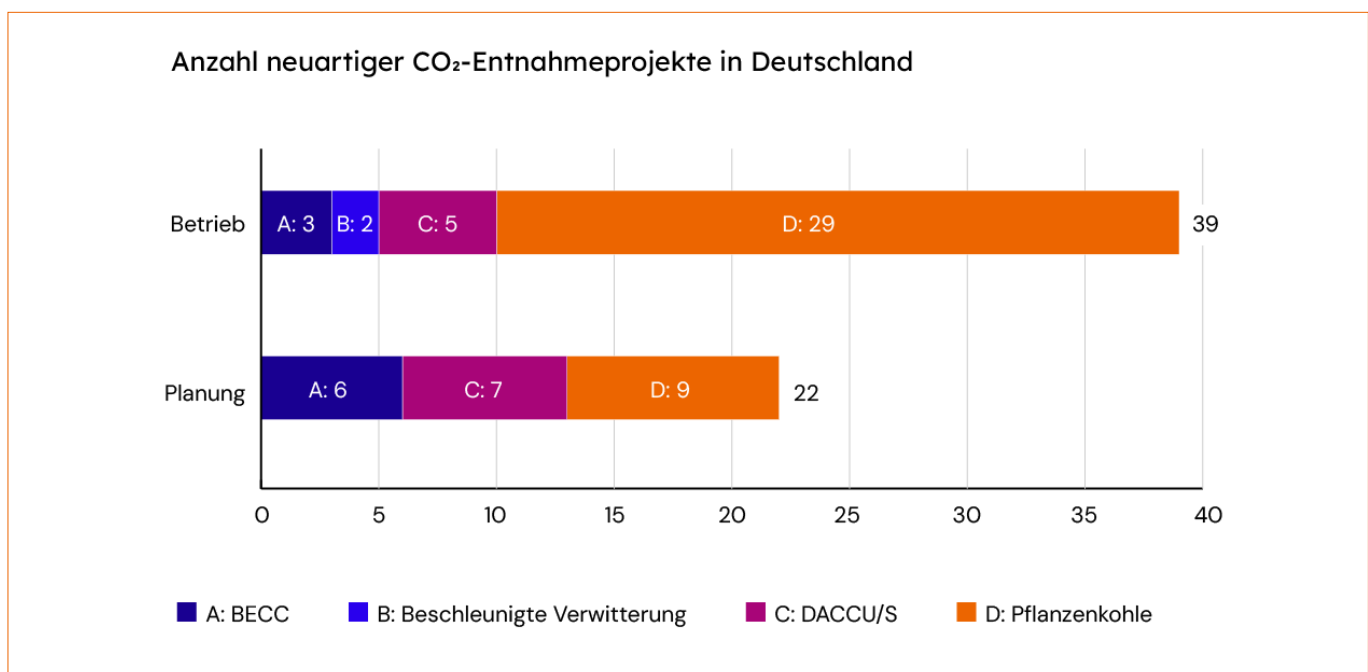


Abbildung 3 Anzahl neuartiger CO₂-Entnahmeprojekte in Deutschland nach CO₂-Entnahmemethode (eigene Darstellung basierend auf eigenen Erhebungen, Stand: 2026)

Direct Air Capture (DAC)

Die dena konnte fünf in Betrieb befindliche Pilotanlagen sowie sieben geplante Projekte in Deutschland identifizieren. Deutsche DAC-Unternehmen befinden sich bislang überwiegend in einer frühen Entwicklungs- und Demonstrationsphase. Die Abscheidekapazitäten der bestehenden Anlagen sind mit maximal 60 Tonnen CO₂ pro Jahr bislang noch sehr gering. Die größte geplante Anlage soll eine Abscheidekapazität von 1.400 Tonnen im Jahr haben. Bislang erfolgt bei keinem der bereits operativen DAC-Projekte eine dauerhafte geologische Speicherung. Zeitnah ist vor allem die dauerhafte Bindung von abgeschiedenem CO₂ an Abbruchbeton geplant. Einzelne Anlagen verwenden das abgeschiedene CO₂ zudem, um kurzlebige Chemieprodukte herzustellen. Hierbei wird zwar keine CO₂-Entnahme erreicht, die Erprobung entsprechender Abscheideanlagen kann jedoch zur Skalierung der DAC-Technologie beitragen.

Beispiele deutscher Projekte:

- Das Projekt LiquidSolar Methanol von Greenlyte stellt das derzeit größte geplante DAC-Projekt in Deutschland mit einer Abscheidekapazität von 1.400 Tonnen CO₂ im Jahr dar. Das abgeschiedene CO₂ soll zur Herstellung von synthetischem Methanol verwendet werden. Hierfür rechnet Greenlyte mit Investitionskosten von rund 25 Mio. Euro. Die Anlage wird durch die Förderung Produktives.NRW unterstützt und soll 2026 in Betrieb gehen (Greenlyte Tech 2025). Bisher betreibt Greenlyte bereits eine Pilotanlage zur Herstellung von synthetischem Erdgas, bei der jährlich 40 Tonnen CO₂ abgeschieden werden.
- Ucanéo hat mit Industrial Pilot den Betrieb einer Pilotanlage mit einer Abscheidekapazität von 50 Tonnen CO₂ pro Jahr in Berlin aufgenommen. Mit DENI / Technical FOAK ist eine Demonstrationsanlage mit einer Abscheidekapazität von 150 Tonnen am selben Standort für 2026 geplant. Darüber hinaus sollen 2027 mit Commercial FOAK (Standort offen) eine Abscheidekapazität von über 1.000 Tonnen pro Jahr und damit der Übergang zur kommerziellen Anwendung erreicht werden.
- NeoCarbon hat in Berlin ein Pilotprojekt mit einer Abscheidekapazität von 5 Tonnen pro Jahr in Betrieb genommen und ist in Vorbereitung der Realisierung des BIK-geförderten Demonstrationsprojekts ANEWDACUS in Höchst, bei dem das abgeschiedene CO₂ durch Karbonatisierung in Beton dauerhaft gebunden werden soll. Der Fokus der Projekte liegt auf der Weiterentwicklung modularer DAC-Systeme und ihrer Integration in industrielle Prozesse, etwa durch Nutzung von Abwärme.
- Phlair entwickelt eine elektrochemische DAC-Technologie und betreibt mit Electra OO (Ismaning) ein Pilotprojekt (10 Tonnen CO₂ pro Jahr). Darüber hinaus befindet sich das BIK-geförderte Demonstrationsprojekt E3CO₂-SUV in Planung. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Weiterentwicklung des Abscheideverfahrens sowie auf der Nutzung des abgeschiedenen CO₂, etwa in der Bau- und Kunststoffindustrie.
- DACMA ist mit dem Forschungs- und Demonstrationsprojekt KIT H2 Mare (Helgoland) bereits operativ tätig und plant mit Pegasus (Hamburg) ein weiteres Demonstrationsprojekt mit einer Abscheidekapazität von 50 Tonnen CO₂ im Jahr. Der Fokus liegt auf der Integration von DAC in Energiesysteme, insbesondere in Kombination mit der Wasserstoffproduktion und Offshore-Anwendungen.

Im Vergleich zu den deutschen Anlagen wurden im Ausland bereits deutlich größere Demonstrations- und kommerzielle Anlagen realisiert. Ein prominentes Beispiel sind die Anlagen von Climeworks, dessen Anlage Orca in Island eine Abscheidekapazität von bis zu 4.000 Tonnen CO₂ pro Jahr erreicht. Die 2024 gestartete Anlage Mammoth weist eine geplante Kapazität von bis zu 36.000 Tonnen pro Jahr auf (Climeworks 2026a). Noch größere Projekte befinden sich international in Entwicklung und Bau: In den USA steht etwa die Anlage STRATOS von 1PointFive kurz vor der Fertigstellung. Die erste Ausbaustufe mit einer Leistung von 250.000 Tonnen CO₂ pro Jahr sollte ursprünglich im zweiten Quartal 2026 in Betrieb gehen. Aufgrund eines Problems mit einer nicht-prozessbezogenen Komponente der Anlage, die nach Angaben des Betreibers nichts mit der Technologie zu tun hat, verzögert sich die Inbetriebnahme jedoch (Carbon Herald 2026). Für die Zukunft ist eine Gesamtkapazität von rund 500.000 Tonnen CO₂ pro Jahr geplant (1PointFive 2026). Die Implementierung von DACCS-Projekten in

Island und den USA profitiert dabei neben der Gegebenheit grundlegender regulatorischer Rahmenbedingungen auch von lokalen Standortvorteilen (ECNO 2023; IPointFive 2026).

Bio Energy Carbon Capture (BECC)

In Deutschland werden nach Recherchen der dena derzeit drei BECC-Projekte betrieben oder erprobt. Dabei handelt es sich bislang ausschließlich um Pilot- und Demonstrationsprojekte in kleinem Maßstab. Darüber hinaus werden weitere sechs Projekte geplant. Sie reichen von Machbarkeitsstudien bis hin zu ersten großskaligen Umsetzungsprojekten. Eine geologische Speicherung von abgeschiedenem biogenem CO₂ wurde noch nicht realisiert. Ein Projekt verwendet jedoch biogenes CO₂ aus der Klärschlammverbrennung zur beschleunigten Verwitterung. Ziel ist es, die Bindung des CO₂ an in Wasser gelöste Bikarbonate zu demonstrieren und perspektivisch eine langfristige Speicherung im Meer zu ermöglichen. Geplante Projekte zur CO₂-Abscheidung bei der Biogasaufbereitung streben eine dauerhafte Bindung durch beschleunigte Karbonatisierung (beispielsweise in Abbruchbeton) an oder haben ihre Speicherkonzepte noch nicht konkretisiert.

Beispiele deutscher Projekte:

- GEA testet eine Abscheideanlage an der Klärschlammverbrennung im Industriepark Höchst, die über drei Monate bis zu 500 Kilogramm CO₂ pro Tag abscheiden soll (GEA 2026).
- EEW betreibt in Hannover eine Demonstrationsanlage auf Basis der von Capsol entwickelten Technologie, die täglich 1 bis 2 Tonnen CO₂ abscheidet und neben der Aminwäsche auch die Absorption mittels Kaliumkarbonat erprobt (EUWID 2023).
- Das bereits operative Projekt Helix von Planeteers am Klärwerk Hetlingen verarbeitet 60 Tonnen biogenes CO₂ pro Jahr über beschleunigte Kalksteinverwitterung zu gelöstem Bikarbonat, das zurück in das Wassersystem geleitet wird und so langfristige Kohlenstoffspeicherung ermöglicht (AZV Südholstein 2024). Im geplanten OSTREA-Projekt möchte Planeteers das gleiche Konzept mit einer Kapazität von 1.000 Tonnen CO₂ pro Jahr realisieren. In zukünftigen Projekten soll das Bikarbonat in das Meer eingeleitet und dort langfristig gespeichert werden (Planeteers 2026).
- Mit dem Projekt BREWACCS planen die Stadtwerke Bremen ein großskaliges kommerzielles Projekt zur geologischen Speicherung von abgeschiedenem CO₂ aus der Müllverbrennung. Das Projekt soll jährlich rund 300.000 Tonnen CO₂ abscheiden und in der norwegischen Nordsee speichern. Die Investitionskosten werden auf 130 bis 170 Mio. Euro geschätzt. Hierfür haben die Stadtwerke bereits 9 Mio. Euro Förderung vom Land Bremen bekommen (Pressestelle des Senats Bremen 2025).
- Weitere geplante Projekte zur Abscheidung von CO₂ an thermischen Abfallbehandlungsanlagen umfassen die Machbarkeitsstudien der Stadtreinigung Hamburg sowie von MVV Umwelt. MVV erhält dazu eine BIK-Förderung (DVNE 2026).
- Das geplante Projekt BioCCUS der MVV Biogas GmbH soll biogenes CO₂ aus einer Bioabfallvergärungs- und Biomethanerzeugungsanlage in Dresden abscheiden und dauerhaft an Abbruchbeton binden. Hierdurch sollen jährlich bis zu 1.000 Tonnen CO₂ entnommen werden. Das Projekt wird gefördert durch die BIK (DVNE 2026).
- Auch Reverion plant, bei der Biogasverwertung CO₂ abzuscheiden, und konnte bereits CO₂-Entnahmen aus einem geplanten Projekt vorverkaufen (Frontier Climate 2026b). Die Technologie von Reverion nutzt reversibel arbeitende Festoxid-Brennstoffzellen, um Biogas elektrochemisch in Strom umzuwandeln, wobei reines, biogenes CO₂ abgefangen wird und zur Nutzung oder dauerhaften Speicherung bereitsteht. Konkrete Standorte und Details zur Speicherung sind noch nicht bekannt.

International ist die Entwicklung von BECC-Projekten bereits weiter fortgeschritten als in Deutschland. Ein zentrales Beispiel ist das BECC-Projekt von Stockholm Exergi in Schweden. Es sieht den Bau einer industriellen BECCS-Anlage am bestehenden Bioenergie-KWK-Standort Värtaverket vor, die ab etwa 2028 bis zu 800.000 Tonnen biogenes CO₂ pro Jahr abscheiden und dauerhaft speichern soll (Stockholm Exergi 2026). Die Investitionskosten des

Projekts liegen bei rund 1,1 bis 1,2 Mrd. Euro, wovon ein Großteil durch öffentliche Fördermittel (EU Innovation Fund und nationale Förderung) sowie langfristige Abnahmevereinbarungen getragen wird (EIB 2025).

Pflanzenkohle

Die dena konnte 29 Projekte in Betrieb und neun weitere in Planung identifizieren. Sie besitzen Entnahmekapazitäten zwischen 300 und 8.700 Tonnen CO₂ pro Jahr. Häufig werden forst- und landwirtschaftliche Abfälle genutzt und Abwärme, gewonnener Strom und die Pflanzenkohle selbst als Futtermittel oder Dünger verkauft. Einige Projekte zielen auf die Pyrolyse von Klärschlamm ab, wobei bestehende Anlagen aufgrund von rechtlichen Hürden für den Einsatz der daraus gewonnenen Pflanzenkohle bislang nicht kommerziell betrieben werden können (Experteninterview).

Beispiele deutscher Projekte:

- Die Ökologische Klärschlamm Trocknung Offenhausen GmbH plant aktuell das größte Projekt in Deutschland, gemessen an der jährlichen Entnahmeleistung. Mittels Klärschlamm-Pyrolyse sollen jährlich rund 8.700 Tonnen CO₂ entnommen werden. Hierfür wird mit Investitionskosten von 14 Mio. Euro gerechnet (Green Energy Innovation 2026).
- Novocarbo betreibt zwei Removal-Parks in Deutschland. Der größere davon befindet sich in Mecklenburg-Vorpommern mit einem Investitionsvolumen von 25 Mio. Euro und einer jährlichen Entnahmeleistung von 3.200 Tonnen CO₂. Zudem werden jährlich 1.700 Tonnen Pflanzenkohle sowie 6.600 Megawattstunden erneuerbare Energie produziert (Erneuerbare Energien 2022).
- Die Pyro Power GmbH plant vier Anlagen (Pyropower GmbH 2026). Darunter fällt etwa das Projekt zur Klärschlamm-Pyrolyse in Gotha mithilfe des Pyro-ClinX-Pyrolysesystems, bei dem die Pflanzenkohleproduktion mit dem Betrieb einer Gasturbine (ClinX) zur Erzeugung von grünem Strom und Prozesswärme kombiniert wird.

International gibt es bereits deutlich größere Projekte für Pflanzenkohle und pyrolytische CO₂-Entnahme als in Deutschland. In Brasilien betreibt Aperam BioEnergia beispielsweise 289 Anlagen, die jährlich insgesamt rund 450.000 Tonnen Pflanzenkohle aus Anbaubiomasse produzieren (Puro.earth 2026). Der Großteil der Pflanzenkohle wird zur Stahlherstellung verwendet. Kleine Anteile werden für den Verkauf von Entnahmezertifikaten im Umfang von bis zu 40.000 Tonnen CO₂ gespeichert. In Nordamerika setzt Pacific Biochar ein Projekt um, das jährlich mindestens 15.000 Tonnen CO₂ entfernt. Im Vereinigten Königreich erzielt Premier Forest Products durch ein Pyrolyseprojekt eine jährliche CO₂-Entnahme von rund 12.000 Tonnen (Regreener 2026). Größere Pyrolyseprojekte finden sich vor allem in Nordamerika, wo eine größere Nachfrage nach Pflanzenkohle herrscht (Experteninterview), und im globalen Süden, wo die zur Zertifizierung erforderliche finanzielle Zusätzlichkeit der CO₂-Entnahme aufgrund mangelnder alternativer Einkommensströme häufiger gegeben ist als in Deutschland (CDR.fyi 2024b).

Beschleunigte Verwitterung

Der dena sind derzeit zwei Projekte in Deutschland bekannt, beide davon in Betrieb. Die Projekte sind bislang vor allem auf die Demonstration des Monitorings und der Vorteile für die Bodenfruchtbarkeit ausgerichtet. Mindestens eines davon erreicht jedoch bereits Entnahmekapazitäten von mehreren Tausend Tonnen CO₂ im Jahr.

Beispiele deutscher Projekte:

- Das Projekt ZX-24 Vulkaneifel von ZeroEx in Rheinland-Pfalz soll jährlich 5.000 Tonnen CO₂ entnehmen (ZeroEx 2025).

- Bei einem Projekt von Naturland und Aeroc sollen zwischen 2025 und 2027 CO₂-Entnahmen durch beschleunigte Verwitterung demonstriert und zertifiziert werden (Naturland 2026). Das Projekt wird im Rahmen von „Grüne Gründungen.NRW“ durch das Land Nordrhein-Westfalen sowie durch Mittel der EU kofinanziert.

Obwohl die natürlichen Standortbedingungen für beschleunigte Verwitterung in tropischen Gebieten besser sind (Ryan et al. 2024), erreichen Projekte auf internationaler Ebene bisher keine größeren Entnahmekapazitäten als etwa das deutsche Projekt ZX-24 Vulkaneifel (Calma 2024). Mit InPlanet gehört zudem ein deutsches Unternehmen zu den führenden Projektentwicklern in tropischen Regionen (Frontier Climate 2026c).

Zusammenfassende Erkenntnisse

Die Analyse der Projektlandschaft zeigt, dass sich die CO₂-Entnahme in Deutschland insgesamt noch in einer frühen Phase befindet. Die bestehenden oder geplanten Projekte sind überwiegend kleinskalige Pilot- und Demonstrationsvorhaben und bleiben in ihrer Dimension deutlich hinter Projekten im Ausland zurück. Gründe hierfür könnten Standortvorteile im Ausland sein.

Gleichzeitig wird deutlich, dass in mehreren Technologiebereichen bereits relevante Kompetenzen, erste Geschäftsmodelle und eine wachsende Projektpipeline vorhanden sind. Diese Ausgangsbasis eröffnet perspektivisch erhebliche wirtschaftliche Chancen: Aufbauend auf den vorhandenen Projekten könnten sich bei geeigneten Rahmenbedingungen neue Wertschöpfungsketten und Exportpotenziale für CO₂-Entnahmetechnologien entwickeln

2 Für Deutschland bieten sich wirtschaftliche Chancen

Optimistischen Prognosen zufolge liegt das Marktpotenzial für CO₂-Entnahmen in Deutschland langfristig bei bis zu 70 Mrd. Euro pro Jahr. Deutschland verfügt über industrielle Wertschöpfungsketten und technologische Kompetenzen, die den Aufbau eines wettbewerbsfähigen Angebots begünstigen. Entlang zentraler Wertschöpfungsstufen sind deshalb schon heute eine Vielzahl deutscher Unternehmen gut positioniert, um mit einem wachsenden CDR-Markt zu expandieren und Marktanteile zu erschließen.

Das Marktpotenzial für CDR in Deutschland liegt bei bis zu 70 Mrd. Euro pro Jahr

Der Markt für Negativemissionen befindet sich aktuell zwar noch in einem frühen Entwicklungsstadium, birgt jedoch erhebliches Wachstumspotenzial und wirtschaftliche Bedeutung sowohl auf nationaler als auch auf globaler Ebene. Im Jahr 2025 wurden in Deutschland rund 197.000 Tonnen CO₂-Entnahme aus neuartigen Senken (vor-)verkauft, was einem Marktvolumen von etwa 88 Mio. Euro entspricht.⁷ Davon wurden bisher 8.818 Tonnen durch Entnahmeprojekte in Deutschland zu einem Gesamtpreis von rund 1,3 Mio. Euro realisiert.⁸

Das Beratungsunternehmen Oliver Wyman (2024) schätzt den globalen Markt für Negativemissionen im Jahr 2023 auf rund 2,7 Mrd. US-Dollar (entspricht 2,3 Mrd. Euro⁹). Optimistische Schätzungen gehen davon aus, dass der globale Markt für Negativemissionen zwischen 2030 und 2035 ein jährliches Volumen von 100 Mrd. US-Dollar (86 Mrd. Euro) erreichen (Oliver Wyman 2024) und bis 2050 auf bis zu 1,2 Bio. US-Dollar (1 Bio. Euro) anwachsen könnte (McKinsey & Company 2023).

Eine Studie der Boston Consulting Group im Auftrag des Deutschen Verbands für negative Emissionen (DVNE) rechnet für Deutschland mit einem CDR-induzierten Wirtschaftspotenzial zwischen 35 und 70 Mrd. Euro im Jahr 2050 (BCG und DVNE 2024). Ein Großteil davon entstünde durch den Einsatz neuartiger Entnahmemethoden wie DACCS (7 bis 14 Mrd. Euro) und BECCS (19 bis 38 Mrd. Euro). Entsprechend bestünde ein Wertschöpfungspotenzial in Deutschland von mehreren Milliarden Euro jährlich.¹⁰

Auch die dena hält – selbst bei konservativer Schätzung – ein jährliches Marktvolumen von 7 bis 16 Mrd. Euro im Jahr 2045 für realistisch. Die Schätzung ergibt sich aus einem angenommenen durchschnittlichen Entnahmepreis von 200 US-Dollar¹¹ (172 Euro) pro Tonne CO₂ und einem Entnahmevolumen von 41 bis 94 Mio. Tonnen CO₂ basierend auf Prognos und Öko-Institut (2025). Die dena-Schätzung liegt damit im Mittel der Ergebnisse einer

⁷ Die Berechnung des Marktvolumens ergibt sich aus den technologiespezifischen Entnahmemengen und Verkaufspreisen. Laut Daten von CDR.fyi (2026b) und Frontier Climate (2026c) wurden 96.000 Tonnen aus BECCS-Projekten (427 Euro pro Tonne), 58.358 Tonnen Entnahme aus zwei DACCS-Projekten (522 Euro pro Tonne), 30.865 Tonnen Entnahme aus Projekten zur beschleunigten Karbonatisierung (480 Euro pro Tonne), 10.281 Tonnen Entnahme aus Pflanzenkohleprojekten, 958 Tonnen aus Biomassespeicherung sowie 158 Tonnen aus ozeanbasierter Entnahme (1.960 Euro pro Tonne) verkauft. Genaue Verkaufspreise für die Negativemissionszertifikate aus Pflanzenkohle und Biomassespeicherung liegen nicht vor, weshalb die dena einen Marktwert von 150 Euro pro Tonne angenommen hat.

⁸ Da die realisierte Entnahmemenge aus 2025 ausschließlich aus Pflanzenkohleprojekten stammt, wird auch hier ein durchschnittlicher Zertifikatspreis von 150 Euro pro Tonne angenommen.

⁹ Zur besseren Vergleichbarkeit werden in dieser Marktanalyse alle Literaturangaben in US-Dollar auch in Euro angegeben. Der Umrechnungsfaktor entspricht dem durchschnittlichen Wechselkurs im Jahr 2025 gemäß der Deutschen Bundesbank (2026): 1 US-Dollar gleich 0,86 Euro.

¹⁰ Die zitierten Studien schätzen das Markt- und Wertschöpfungspotenzial auf Grundlage von Kostenschätzungen für Entnahmemethoden. Sie berücksichtigen nicht, dass stets nur ein Teil der Wertschöpfung im Inland erfolgt, während ein anderer Teil im Ausland generiert wird, insbesondere durch den Import von Vorleistungen in Form von Rohstoffen, Komponenten oder Dienstleistungen. Für eine genauere Bestimmung des Wertschöpfungspotenzials durch Entnahme in Deutschland wären aufwendige Input-Output-Analysen zur Ermittlung sektoraler Wertschöpfungskoeffizienten notwendig. Neben direkter Wertschöpfung, die unmittelbar im Entnahmesektor entsteht, kann es zu indirekten Wertschöpfungseffekten in vorgelagerten Lieferketten sowie zu induzierter Wertschöpfung durch Konsum aus generiertem Einkommen kommen.

¹¹ Laut Serin et al. (2025) rechnen die meisten Studien mit langfristigen Entnahmekosten von ca. 200 US-Dollar (172 Euro) pro Tonne CO₂.

aktuellen Studie von Carbon Gap und Sweco (2026). Der Marktwert der in Deutschland im Jahr 2025 verkauften und realisierten Entnahmemenge (rund 1,3 Mio. Euro) entspricht somit etwa 0,01 bis 0,02 Prozent des für CDR in Deutschland nach Schätzung der dena erforderlichen Marktwerts in Höhe von 7 bis 16 Mrd. Euro im Jahr 2045.

Eine Übersicht über die verschiedenen Prognosen zu Markterlösen auf deutscher und globaler Ebene ist in Abbildung 4 dargestellt.

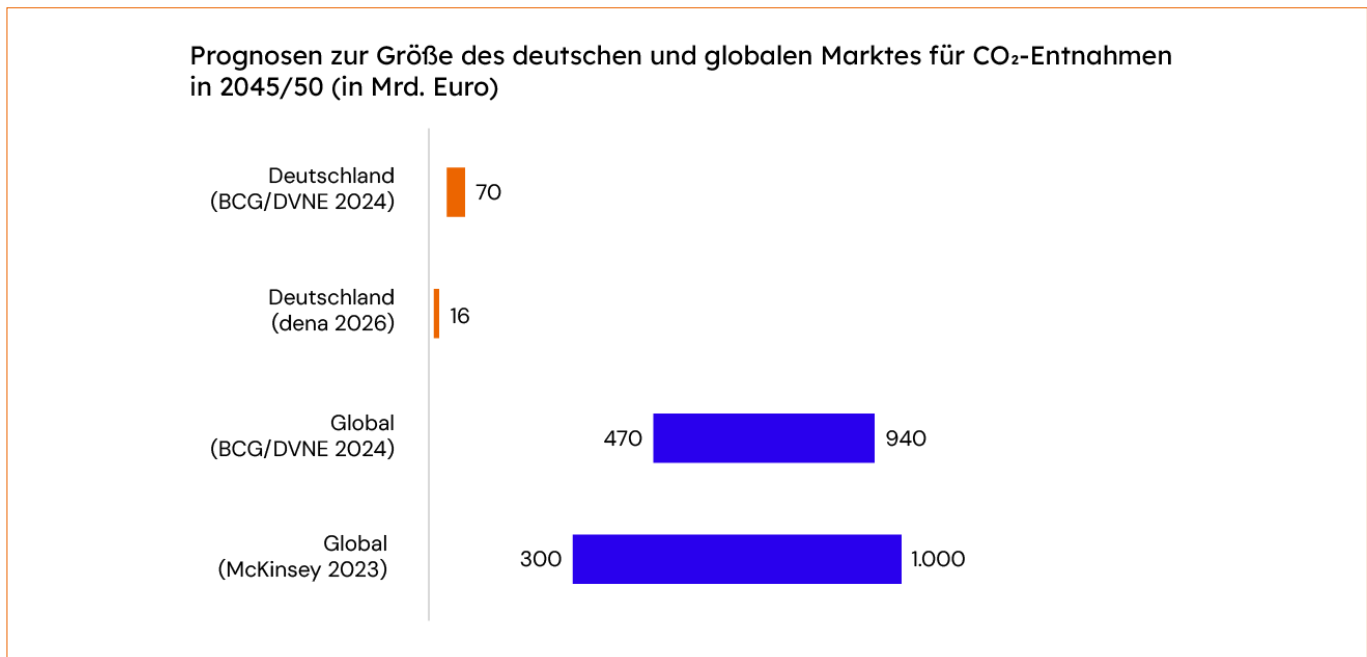


Abbildung 4 Prognosen zur Größe des deutschen und globalen Marktes für CO₂-Entnahmen im Jahr 2045/2050 (eigene Darstellung)

Deutsche Unternehmen sind gut positioniert, um mit dem Markt zu wachsen

In Deutschland existiert bereits eine vielfältige Unternehmenslandschaft für neuartige Entnahmen. Unternehmen sind in der gesamten Wertschöpfungskette aktiv, von der Planung, der Entwicklung und dem Betrieb von Projekten über die Lieferung notwendiger Maschinen und Anlagen bis hin zur Zertifizierung und digitalen Überwachung. Heute schaffen rund 150 deutsche Unternehmen Wertschöpfung mit Negativemissionen, davon jeweils etwa ein Drittel mit BECCS bzw. Pflanzenkohle (siehe Abbildung 5). Die deutsche Unternehmenslandschaft umfasst dabei sowohl Start-ups als auch kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sowie Großkonzerne. Dazu gehören technologieorientierte Start-ups wie NeoCarbon, etablierte Akteure des freiwilligen Kohlenstoffmarktes wie Atmosfair sowie kommunale Betreiber von Entnahmeprojekten, etwa aus dem Umfeld von Klärwerken oder Bioenergie. Ergänzt werden sie durch Unternehmen wie die drei TÜV-Gesellschaften mit ihrer Expertise im Bereich der Zertifizierung sowie Maschinen- und Anlagenbauer wie die GEA Group oder Everllence.

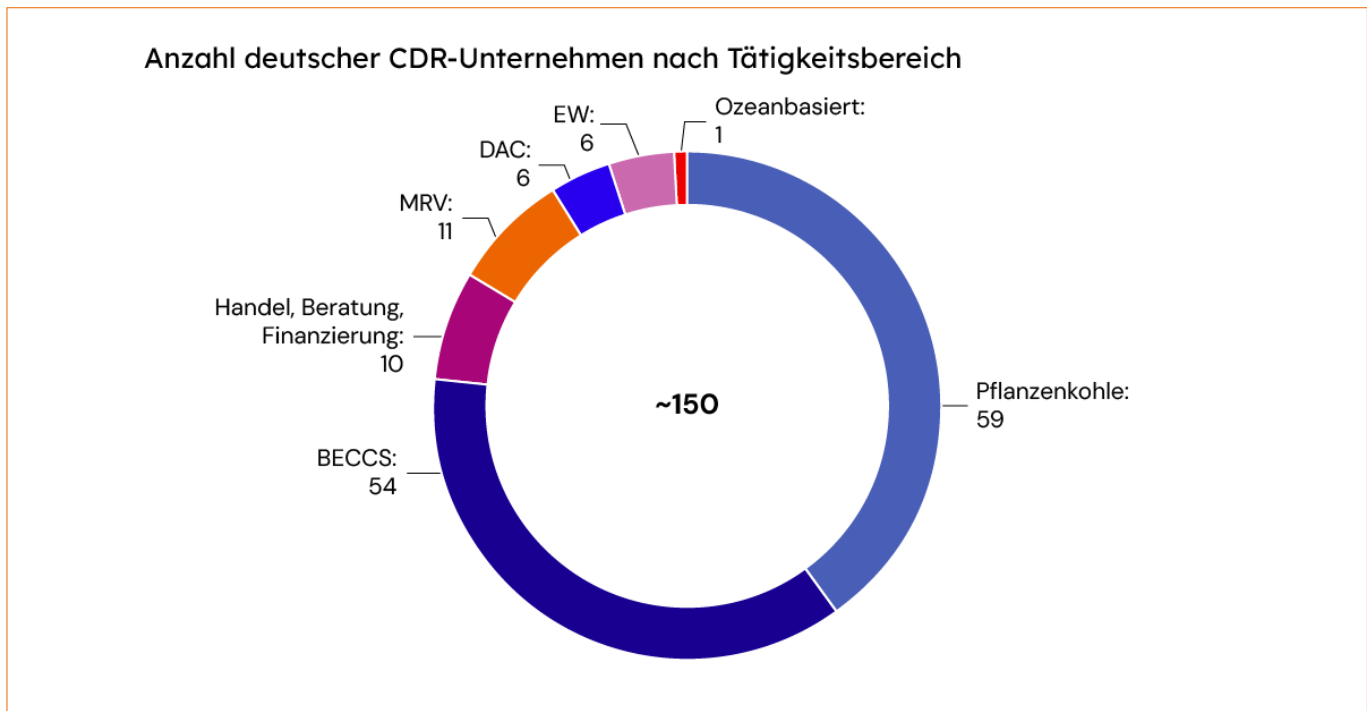


Abbildung 5 Anzahl deutscher CDR-Unternehmen nach Tätigkeitsbereich (eigene Darstellung basierend auf eigenen Erhebungen)

Die Unternehmen profitieren von beträchtlichen Investitionen in Forschung und Entwicklung (F&E) im Bereich der CO₂-Entnahme. Der Internationalen Energieagentur (IEA) zufolge hat Deutschland zwischen 2004 und 2023 rund 400 Mio. Euro in die F&E für CO₂-Abscheide- und -Speichertechnologien investiert (IEA 2025).¹² Auch bei der Patenttätigkeit nimmt Deutschland bei CO₂-Entnahmetechnologien eine führende internationale Position ein. Laut Serin et al. (2025) liegt Deutschland bei BECCS weltweit auf Rang drei und im Bereich DAC auf Rang zwei. Andere Untersuchungen bestätigen dies (Norwegian Industrial Property Officet 2023; Ramos und Santos 2025). Dies deutet auf eine hohe technologische Kompetenz sowie eine ausgeprägte Forschungs- und Entwicklungsdynamik hin, die die Grundlage für Kooperationen zwischen Wissenschaft und Unternehmen sowie technologieorientierten Ausgründungen bildet. Ein Beispiel dafür ist das Unternehmen Greenlyte Carbon Technologies, das aus dem Umfeld der Universität Duisburg-Essen hervorgegangen ist und an DACCS-Lösungen arbeitet.

Neuartige Entnahmemethoden bieten wirtschaftliche Chancen für Wirtschaftssectoren und Unternehmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette

Neuartige Entnahmemethoden wie DACCS, BECCS oder Pyrolyse sind technologisch anspruchsvolle Industrieprozesse. An ihrer Realisierung und ihrem Betrieb sind daher zahlreiche Unternehmen verschiedener Branchen entlang einer mehrstufigen Wertschöpfungskette beteiligt. Gerade in der frühen Marktphase sind die Kosten pro entnommener Tonne CO₂ vergleichsweise hoch, insbesondere aufgrund erheblicher Anfangsinvestitionen in Anlagentechnik, Energieinfrastruktur und Systemintegration sowie noch fehlender Skaleneffekte. Diese Kapitalintensität ist jedoch nicht allein als Kostenfaktor zu verstehen. Sie ist auch Ausdruck

¹² Die IEA-Datenbank enthält ausschließlich Daten zur Kategorie „CO₂ Capture and Storage“ und erfasst keine Ausgaben, die dezidiert für CDR vorgesehen sind. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Forschung zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung auch für viele technische Entnahmemethoden wie DACCS von hoher Relevanz ist.

möglicher industrieller Wertschöpfung. Investitionen in Abscheideanlagen, Energieversorgung sowie Transport- und Speicherinfrastruktur generieren Umsätze, etwa im Maschinen- und Anlagenbau, im Bausektor sowie bei technischen Dienstleistern. Der Energiebedarf beispielsweise von DACCS-Anlagen erfordert Investitionen in erneuerbare Erzeugungskapazitäten und Netzanschlüsse und induziert damit weitere wirtschaftliche Aktivität.

Zugleich erfordern die Entwicklung, die Errichtung und der Betrieb neuartiger CDR-Anlagen ein hohes Maß an technischer Kompetenz und qualifiziertem Personal in zahlreichen Fachbereichen, vor allem im Ingenieurwesen, in den Chemie- und Geowissenschaften und in der IT. Neuartige CO₂-Entnahme ist sowohl kapital- als auch wissensintensiv und entspricht somit in ihrer Struktur den Stärken des deutschen Wirtschaftsstandorts.

Tabelle 1 bietet einen Überblick über die einzelnen Glieder der Wertschöpfungskette neuartiger Entnahmemethoden.

Tabelle 1 Gliederung der Wertschöpfungskette neuartiger Entnahmemethoden

Wertschöpfungsglied	Beschreibung
Maschinen- und Anlagenbau	Maschinenbau: Entwicklung und Fertigung von Maschinen, Anlagen und Komponenten, beispielsweise Abscheideanlagen für BECCS oder DACCS sowie Nebenaggregate wie Pumpen, Verdichter, Kühlsysteme und Filter- und Steuerungstechnik Anlagenbau: Realisierung und Errichtung integrierter technischer Anlagen am Standort; erfolgt oftmals durch EPC-Firmen (Engineering, Procurement and Construction) in Kooperation mit Projektierern, Bau- und Planungsdienstleistern und Maschinenbauern
Betrieb, Instandhaltung, Rohstoffe und Betriebsmittel	Betrieb und Instandhaltung: Umfassen alle Aktivitäten und Dienstleistungen, die zur Aufrechterhaltung des kontinuierlichen Betriebs einer Entnahmeanlage notwendig sind Rohstoffe und Betriebsmittel: Umfassen Aufwand und Kosten für Betriebsmittel wie Biomasse (BECCS), Gesteinsmehl (beschleunigte Verwitterung) oder erneuerbare Elektrizität (DACCS)
CO ₂ -Transport und -Speicherung	Transport: Transport von abgeschiedenem CO₂ durch Pipeline-Infrastruktur, in Einzelfällen auch schienen- oder straßengebunden Speicherung: Dauerhafte geologische Speicherung von CO₂
MRV, Intermediäre und Plattformen	MRV: Umfasst die Zertifizierung von CO₂-Entnahmeprojekten und verkauften Entnahmemengen Intermediäre und Plattformen: Bringen Angebot und Nachfrage zusammen, erhöhen (Preis-)Transparenz und senken Transaktionskosten

Trotz unterschiedlicher Schwerpunkte nimmt der Maschinen- und Anlagenbau eine zentrale Rolle in der Wertschöpfung für alle dargestellten Entnahmemethoden (ausgenommen beschleunigte Verwitterung, siehe Abbildung 6) ein. Ebenso sind MRV und Intermediäre über die Entnahmemethoden hinweg ein relevanter Teil der Wertschöpfung (mindestens 12 Prozent).

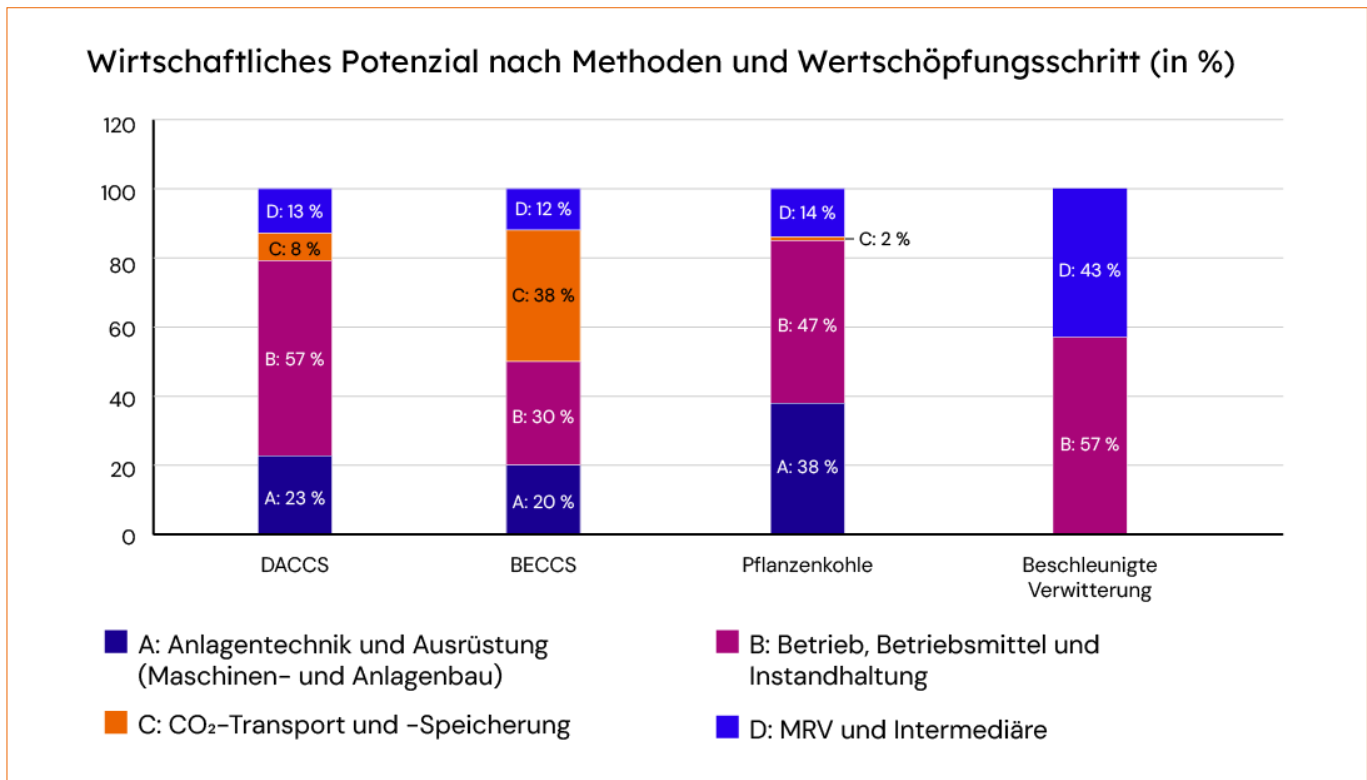


Abbildung 6 Wirtschaftliches Potenzial nach Methoden und Wertschöpfungsschritt (eigene Darstellung basierend auf BCG und DVNE (2024))

Deutschland besitzt gute Standortvoraussetzungen für die Entwicklung einer Industrie für neuartige Entnahmen

Deutschland hat die ersten Schritte hin zur Entwicklung eines Marktes für neuartige Entnahmemethoden und eines dazugehörigen Ökosystems aus Anbietern, Nachfragern und Dienstleistern getan. Dank guter Standortvoraussetzungen, insbesondere in Bezug auf die industrielle Basis, hat Deutschland das Potenzial, eine starke und breit aufgestellte Industrie zu formen.

Die Erfordernisse der Entwicklung neuartiger Entnahme treffen auf die Stärke des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus

Der Maschinen- und Anlagenbau gehört zu den klassischen Stärken der deutschen Industrie. In Deutschland erzielte die Branche im Jahr 2024 einen Jahresumsatz von ca. 360 Mrd. Euro und damit ca. 40 Prozent des gesamten europäischen Umsatzes. Dadurch ist Deutschland der drittgrößte Markt weltweit nach China (Jahresumsatz 2024 ca. 1.300 Mrd. Euro) und den USA (ca. 420 Mrd. Euro). Die Branche beschäftigt rund 1,3 Mio. Menschen in Deutschland; die Exportquote lag 2024 bei 84 Prozent (VDMA 2026).

CDR-Start-ups profitieren davon auf vielfältige Weise, etwa durch Zugang zu qualifizierten Fachkräften und spezialisierten Zulieferern. Auch für klassische Maschinenbauer bieten sich Chancen, da sie vielfach schon in relevanten Bereichen tätig sind, etwa bei der Fertigung von Komponenten für Biogasanlagen. Auch im Anlagenbau bestehen Anknüpfungspunkte. Die Nachrüstung von Abscheideanlagen an thermischen Abfallbehandlungs- und Biogasanlagen oder der Bau von DAC-Anlagen erfordern Kompetenzen in der Projektierung und dem Bau technischer Anlagen, wie sie deutsche (Groß-)Anlagenbauer durch Erfahrungen etwa im Energie- und Chemiesektor mitbringen.

Betrieb bietet Chancen für Unternehmen verschiedener Branchen – von der Landwirtschaft bis zur Chemieindustrie

Der Betrieb, die Bereitstellung von Betriebsmitteln und die Instandhaltung von Anlagen zur CO₂-Entnahme ermöglichen Wertschöpfung in sehr unterschiedlichen Branchen. Zum einen generieren Anlagenbetreiber Erlöse durch den Verkauf von Entnahmezertifikaten und sichern damit Betrieb und Beschäftigung. Der Betrieb kann durch spezialisierte Projektierer oder durch etablierte Unternehmen aus der Bioenergie- und Abfallindustrie erfolgen und ermöglicht so eine breite räumliche Streuung der Aktivitäten, weshalb Wertschöpfung in der Breite Deutschlands stattfinden kann. Zum anderen ergeben sich Potenziale für Dienstleistungen und Betriebsmittel wie Chemikalien für die CO₂-Abscheidung. Dies schafft Nachfrage für die chemische Industrie. Neuartige Entnahmemethoden profitieren ihrerseits von der Stärke der deutschen Chemieindustrie, die mit einem Jahresumsatz von rund 200 Mrd. Euro eine ähnliche Bedeutung aufweist wie der Maschinenbau (VCI 2025).

Bei CCS-basierten Entnahmemethoden ergeben sich darüber hinaus Wertschöpfungspotenziale durch den Transport und die Speicherung von CO₂. In der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) gibt es auch in Deutschland erhebliche Speicherpotenziale und damit die Möglichkeit, einen Anteil dieser Wertschöpfung in Deutschland zu sichern (Wallmann und GEOSTOR 2025). Dabei bestehen große infrastrukturelle Synergien zu CCS für schwer vermeidbare Emissionen in der Industrie.

Deutsche Unternehmen sind führend bei Monitoring, Reporting und Verification

Zuverlässiges, effektives MRV ist zentral, um die Vertrauenswürdigkeit von Entnahmeprojekten sicherzustellen. Deutsche Unternehmen sind weltweit führend in diesem Bereich: Neben bekannten Prüf- und Zertifizierungsunternehmen wie TÜV SÜD, TÜV NORD, TÜV Rheinland oder Dekra existieren auch zahlreiche kleinere und mittlere Unternehmen, beispielsweise Zertifizierungsstellen, die im Biogas- und Biokraftstoffsegment tätig sind und sich durch MRV für BECCS oder beschleunigte Verwitterung neue Geschäftsfelder erschließen.

Bereits heute gibt es mit Unternehmen wie Cula oder Carbonfuture Firmen, die sich auf MRV im Entnahmesektor spezialisieren. Für die Entwicklung eines Marktes für Entnahmezertifikate benötigt es zudem Intermediäre und Plattformen, unter anderem um Angebot und Nachfrage zusammenzubringen und Preistransparenz zu ermöglichen. Auch in diesem Segment sind deutsche Unternehmen bereits aktiv, neben Carbonfuture etwa Atmosfair.

Deutschland kann neben dem heimischen Markt auch internationale Märkte erschließen und Technologien und Dienstleistungen exportieren

Eine wachsende Entnahmebranche in Deutschland kann dazu beitragen, deutschen Unternehmen die Sicherung von Anteilen am globalen Wachstumsmarkt für Entnahme zu erleichtern. Bereits heute erzielen deutsche Unternehmen Umsätze durch den Export von Technologien und Dienstleistungen für Entnahmeprojekte. Dazu zählen beispielhaft:

- Modulare Anlagen und Komponenten für unterschiedliche CDR-Technologien, etwa von Greenlyte, das DAC-Anlagen nach Quebec in Kanada exportiert
- Softwarelösungen für Betrieb, MRV und den Zertifikatehandel, bereitgestellt unter anderem von TÜV und spezialisierten Start-ups
- Projektentwicklungs- und Kompensationsdienstleistungen, beispielsweise durch Atmosfair
- Beratungs- und Engineering-Leistungen, etwa von Decarbo, das Ingenieurdienstleistungen für Pflanzkohleprojekte in Norwegen und den USA erbringt

Einzelne deutsche Unternehmen erwirtschaften mittlerweile den Großteil ihres Umsatzes im Ausland, da die Märkte dort teilweise schneller wachsen. Ein Beispiel ist der Maschinenbauer PYREG, der Pyrolyseanlagen zur Herstellung

von Pflanzkohle entwickelt und produziert. Eine entsprechende industrie- und außenwirtschaftspolitische Flankierung kann zur Sicherung und Ausweitung der Marktposition deutscher Unternehmen beitragen.

Grundlegend besteht aus wirtschaftspolitischer Perspektive ein eindeutiges Interesse am Aufbau inländischer CO₂-Entnahmekapazitäten. So ist aus der Innovations- und Wirtschaftsforschung bekannt, dass leistungsfähige Heimatmärkte eine zentrale Rolle beim Aufbau internationaler Wettbewerbsvorteile in neuen Wachstumsmärkten spielen. Ein anspruchsvoller inländischer Nachfragemarkt beschleunigt Lernprozesse, fördert Qualitätsstandards und ermöglicht Referenzprojekte. Zugleich begünstigen nationale Märkte mit einer diversen Unternehmenslandschaft Wettbewerb und Wissens-Spillover, Spezialisierung und die schnelle Diffusion neuer Technologien (Porter 1998). Wenn deutsche Unternehmen und Privatpersonen Entnahmezertifikate aus Projekten im Ausland einkaufen, fällt die inländische Wertschöpfung hingegen deutlich geringer aus – insbesondere wenn bei diesen Projekten keine deutschen Unternehmen beteiligt sind (Experteninterview).

3 Das wirtschaftliche Potenzial lässt sich nur mit staatlicher Unterstützung realisieren

Wie im vorherigen Kapitel ausgeführt, bietet die für die Klimaziele erforderliche Menge an neuartigen CO₂-Entnahmen erhebliches Wertschöpfungspotenzial für Deutschland. Damit dieses Potenzial ausgeschöpft werden kann, braucht es jedoch staatliche Unterstützung, denn neuartige Entnahmeprojekte sehen sich derzeit mit mehreren Herausforderungen konfrontiert, die das Marktwachstum hemmen. Im Folgenden wird zunächst auf die mangelnde verlässliche Nachfrage nach CO₂-Entnahmen eingegangen, die eine methodenübergreifende Hürde darstellt. Daraufhin wird erläutert, warum in Zukunft mit einer stabileren Nachfrage zu rechnen ist. Zuletzt werden für jede Entnahmemethode angebotsseitige Herausforderungen beleuchtet und potenzielle Förderansätze spezifiziert, um diese Barrieren zu überwinden.

Verlässliche Nachfrage nach CO₂-Entnahmen notwendig

Eine zentrale Herausforderung ist die derzeit noch mangelnde verlässliche Nachfrage nach CO₂-Entnahmen. Sie stellen – ähnlich wie Emissionsminderungen – ein öffentliches Gut dar, für das ohne staatliche Rahmensetzung kein privatwirtschaftlicher Produktionsanreiz besteht. Während für Emissionsminderungen eine marktwirtschaftliche Steuerungswirkung über den Europäischen Emissionshandel (engl. European Union Emissions Trading System, EU-ETS) geschaffen wurde, sind CO₂-Entnahmen bislang nicht in den ordnungsrechtlichen Rahmen des EU-ETS oder anderer Instrumente integriert. Somit liegt ein klassisches Marktversagen vor: Trotz der positiven gesellschaftlichen Auswirkungen von CO₂-Entnahmen bestehen für Unternehmen bisher kaum ökonomische Anreize, in sie zu investieren.

Stattdessen beruht die Nachfrage nach CO₂-Entnahmen derzeit größtenteils auf freiwilligem Engagement von Unternehmen. Als Bestandteil unternehmensinterner Klimastrategien erwerben sie entweder Entnahmezertifikate auf dem freiwilligen Kohlenstoffmarkt oder schließen direkte Abnahmevereinbarungen mit Projektbetreibern ab. Diese Nachfrage ist auch bedingt durch die Erwartung, dass perspektivisch ein Compliance-Markt für CO₂-Entnahmen entsteht.

Auf dem VCM sind Entnahmezertifikate aktuell nur eingeschränkt wettbewerbsfähig, da sie mit deutlich günstigeren Zertifikatstypen (etwa zur Vermeidung oder zur Minderung von CO₂-Emissionen) konkurrieren. Dies liegt daran, dass auf dem VCM nur unzureichend zwischen verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten und Qualitätsgraden von Zertifikaten unterschieden wird. Zurzeit übersteigen die Preise von Zertifikaten für neuartige Entnahmen solche von Minderungs- oder Vermeidungszertifikaten um das Hundertfache (Smith et al. 2024). Daher erscheint eine stärkere Differenzierung der Verwendungsmöglichkeiten von VCM-Zertifikaten in Zukunft ratsam.

Umfragen deuten darauf hin, dass Kunden auf dem VCM Zertifikate für neuartige Entnahmen schon für teuer halten, wenn diese noch nicht einmal die aktuellen Produktionskosten decken (Opis und CDR.fyi 2025). Eine ausschließliche Finanzierung neuartiger Entnahmeprojekte über Zertifikateinnahmen ist daher zum jetzigen Zeitpunkt herausfordernd. Das gilt besonders für Methoden, die derzeit zwar noch kostspielig sind, jedoch als besonders aussichtsreich eingeschätzt werden. Ergänzende Finanzierungswege sind erforderlich, bis entweder die Produktionskosten gesunken oder mehr Käufer bereit sind, vergleichsweise teure Zertifikate für neuartige Entnahmen zu erwerben.

Hinzu kommt, dass die Nachfrage nach neuartigen CO₂-Entnahmen – auch bedingt durch die hohen Preise – höchst konzentriert ist. Sie lässt sich auf einige wenige Unternehmen wie beispielsweise Microsoft zurückführen, die bereit und in der Lage sind, höhere Preise zu bezahlen (CDR.fyi 2024a; Carbon Direct 2026; Levinger und Römer 2025). Diese Unternehmen können die Marktentwicklung steuern, indem sie Abnahmevereinbarungen für bestimmte Entnahmezertifikate eingehen. Diese Abhängigkeit stellt jedoch ein Risiko dar, da bereits die fehlende Nachfrage von nur einem dieser Unternehmen die Stabilität des Marktes erheblich beeinflussen kann. Die

Auswirkungen dieser Konzentration zeigen sich derzeit: Mitte April 2026 teilte Microsoft mit, sein CDR-Ankaufprogramm reevaluieren zu wollen. CDR bleibe zwar weiterhin eine Säule der eigenen Klimastrategie und bestehende Vereinbarung seien davon unberührt. Für die Branche bleibt jedoch offen, was dies für die Nachfrage in den kommenden Jahren bedeutet. Bereits die Ankündigung führte zu Verunsicherungen im jungen CDR-Markt, was die Fragilität des Marktes in seiner jetzigen Form illustriert.

Die mangelnde verlässliche Nachfrage beeinträchtigt die Marktbildung derzeit erheblich. Unsichere Einnahmeströme erschweren es Projektentwicklern, ausreichend Kapital zu mobilisieren (Gespräche mit UniCredit und Projektbetreibern). Dadurch entsteht ein Koordinationsproblem zwischen Angebot und Nachfrage.

Mehrere Initiativen lassen für die Zukunft eine verlässlichere Nachfrage erwarten

Gleichzeitig deuten mehrere Entwicklungen darauf hin, dass in Zukunft eine verlässlichere Nachfrage entstehen kann. Gemäß Artikel 30 Absatz 5 EU-ETS-Richtlinie wird die EU-Kommission bis zum 31. Juli 2026 Vorschläge vorlegen, wie dauerhafte CO₂-Entnahmen in den EU-ETS integriert werden können. Ob, in welchem Umfang und wie genau eine Integration erfolgt, ist noch nicht abzusehen. Die Bestrebungen der Kommission verdeutlichen jedoch ein politisches Bekenntnis zur Notwendigkeit neuartiger CO₂-Entnahmen auf EU-Ebene und zur Schaffung entsprechender nachfrageseitiger Instrumente.

Ebenso hat die EU damit begonnen, einen einheitlichen Qualitätsstandard für qualitativ hochwertige CO₂-Entnahmen zu schaffen und damit aus dem Thema Zertifizierung resultierende Unsicherheiten für potenzielle Käufer auf dem VCM zu reduzieren. Im Rahmen der europäischen Verordnung zur Zertifizierung von CO₂-Entnahmen und kohlenstoffspeichernder Landbewirtschaftung (engl. Carbon Removals and Carbon Farming Regulation, CRCF) entwickelt die Kommission aktuell Zertifizierungsmethodologien. Für dauerhafte Entnahmen (BECCS, DACCS, Pflanzenkohle) wurden entsprechende Methodologien bereits Anfang 2026 in Form eines Delegierten Rechtsakts erlassen. Sie werden im Sommer 2026 in Kraft treten. Im Laufe des Jahres 2026 folgen zwei weitere Entnahmemethoden: Bodenkohlenstoffanreicherung und biobasiertes Bauen. Mit Methodologien für die weiteren Entnahmemethoden – etwa die beschleunigte Verwitterung, die Speicherung in mineralischen Stoffströmen und Produkten (Mineralisierung), die Alkalinitätserhöhung oder die Direkte Ozeanische Abscheidung und Speicherung (engl. Direct Ocean Capture and Storage, DOCS) – ist 2027 zu rechnen.

Darüber hinaus setzen sich trotz der aktuellen politischen Lage global gesehen immer mehr Unternehmen freiwillige Klimaziele im Rahmen der Science Based Targets initiative (SBTi), einer internationalen Initiative, die Unternehmen dabei unterstützt, ihre Klimaziele auf eine wissenschaftlich fundierte Grundlage zu stellen. Mitte 2025 verzeichnete SBTi über 2.300 Unternehmen, die sich sowohl ein kurzfristiges als auch ein langfristiges Netto-Null-Ziel gesetzt haben. Im Vergleich zum Referenzzeitpunkt Anfang 2023 wuchs diese Anzahl innerhalb von 18 Monaten um 227 Prozent (SBTi 2025). Im Rahmen der SBTi müssen Unternehmen ab 2035 einen Teil ihrer Emissionen durch Entnahmezertifikate kompensieren. Bleibt der Standard in seiner jetzigen Form bestehen, würde allein aus den Unternehmen mit derzeitigem SBTi-Ziel eine globale Nachfrage nach CO₂-Entnahmen im Umfang von 0,5 Mrd. Tonnen bis 2040 und 1,2 Mrd. Tonnen bis 2050 entstehen (Carbon Direct 2026).¹³

In den letzten Jahren ist zudem eine deutliche Nachfragesteigerung nach Entnahmezertifikaten auf dem VCM zu verzeichnen, obwohl die Gesamtnachfrage auf dem VCM – also unter Berücksichtigung von Minderungs- und Vermeidungszertifikaten – in den letzten fünf Jahren stagnierte. Zwischen 2023 und 2025 stieg die Nachfrage nach

¹³ Zum Vergleich: Um die Pariser Klimaziele einzuhalten, wird global von einem jährlichen CDR-Bedarf zwischen 6 und 10 Mrd. Tonnen CO₂ im Jahr 2050 ausgegangen (Edenhofer et al. 2024; Levinger und Römer 2025).

CO₂-Entnahmezertifikaten über Abnahmeverträge beispielsweise um das Sechsfache auf 70 Mio. Tonnen. Rund 43 Prozent davon entfallen auf dauerhafte Entnahmen, die im Begriffsverständnis der Quelle deckungsgleich mit neuartigen Entnahmen sind (Carbon Direct 2026).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Marktrahmen noch unvollständig ist: Die mangelnde verlässliche Nachfrage nach CO₂-Entnahmen stellt ein Marktversagen dar, das grundsätzlich einen methodenübergreifenden Förderbedarf begründen kann. Die oben beschriebenen Initiativen deuten zugleich darauf hin, dass in Zukunft eine stabile Nachfrage entstehen kann, was das Risiko einer dauerhaften Förderabhängigkeit reduziert.

Neuartige Entnahmemethoden sehen sich mit angebotsseitigen Herausforderungen konfrontiert; die konkreten Förderbedarfe unterscheiden sich je Methode

Neuartige Entnahmemethoden sind im Vergleich zu natürlichen Senken generell kapitalintensiv (Smith et al. 2024). Bei den Kosten und Kostenstrukturen gibt es zwischen ihnen jedoch signifikante Unterschiede. Zudem sind manche neuartige Entnahmemethoden marktreifer als andere. Um den oben identifizierten allgemeinen Förderbedarf stärker differenzieren zu können, wird im Folgenden jede betrachtete Entnahmemethode¹⁴ hinsichtlich der folgenden Kriterien untersucht und beschrieben:

- **Technologiereifegrad** (engl. Technology Readiness Level, TRL): Hierdurch kann abgeleitet werden, welche Entnahmemethoden kurz- bis mittelfristig marktfähig werden können und bei welchen noch grundlegender Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht. Dies hilft dabei, staatliche Unterstützung zielgerichtet auszugestalten und Mitnahmeeffekte zu vermeiden. Die Angaben beruhen auf den Recherchen, die im Stakeholder-Beteiligungsprozess zur Langfriststrategie Negative Emissionen (LNe) validiert wurden.
- **Kosten je Tonne CO₂-Entnahme**: Angabe von aktuellen und zukünftigen Entnahmekosten. Die Differenz beider Werte gibt Aufschluss über das Kostensenkungspotenzial der Entnahmemethode. Vergleicht man die Werte verschiedener Entnahmemethoden, kann zudem eine Einschätzung zur derzeitigen und zukünftig wahrscheinlichen Wettbewerbsfähigkeit der Entnahmemethoden untereinander getroffen werden. Ebenso können die Kosten mit denen von Minderungsmaßnahmen verglichen werden. Die Werte beruhen auf einer Literaturschau von Kostenschätzungen auf globaler bzw. europäischer Ebene und basieren auf European Commission und Ramboll Management Consulting (2025a).
- **Kostenverteilung**: Einschätzung der zukünftigen Kostenverteilung zwischen Investitionskosten (engl. Capital Expenditure, CAPEX) und Betriebskosten (engl. Operational Expenditure, OPEX) pro entnommener Tonne CO₂ im Jahr 2045. Die Angaben basieren auf BCG und DVNE (2025). Die dort angegebenen CAPEX für Energie-, Transport- und Speicherinfrastrukturen wurden hier jedoch den OPEX zugeordnet, da Infrastrukturbetreiber diese Kosten in der Regel an Projektbetreiber weitergeben. Sie stellen aus Sicht der Projektbetreiber folglich näherungsweise OPEX dar.
- **Energiebedarf**: Relevant, da einige Entnahmemethoden einen hohen (zusätzlichen) Energiebedarf aufweisen und sich bei Strombezug aus dem Netz die Entnahmebilanz verschlechtern kann.
- **Skalierungshemmnisse**: Zentrale Herausforderungen, die einen Markthochlauf erschweren.

¹⁴ Die vorliegende Marktanalyse beschränkt sich auf eine Untersuchung der folgenden neuartigen Entnahmemethoden: DACCS, BECCS, Pflanzkohle und beschleunigte Verwitterung, da diese sich durch einen vergleichsweise fortgeschrittenen technologischen Reifegrad, relevante Potenziale und eine zeitnahe Umsetzbarkeit auszeichnen. Andere neuartige Entnahmemethoden, beispielsweise marine Methoden, die stofflich-chemische Biomassennutzung oder die künstliche Photosynthese, können zukünftig ebenfalls eine wichtige Rolle einnehmen. Sie weisen aber mitunter noch technologischen Entwicklungsbedarf auf und spielen in Kohlenstoffmärkten für die CO₂-Entnahme bislang nur eine untergeordnete Rolle.

- Größte Abscheide-/Entnahmekapazität eines aktuellen oder geplanten Projekts in Deutschland: Relevant zur Einschätzung von kurzzeitig realisierbaren Entnahmemengen. Die Angabe beruht auf der in Kapitel 1 vorgenommenen Beschreibung der deutschen Projektlandschaft.
- Investitionssumme desselben Projekts: Relevant zur Einschätzung der erforderlichen CAPEX, um eine entsprechende Abscheide-/Entnahmemenge zu realisieren.
- Finanzierungsbedarf von CDR-Unternehmen: Die Werte beruhen auf Eigenangaben von Branchenunternehmen nach CDR.fyi und Planet 2050 (2025). Sie können bei der Abschätzung von erforderlichen Fördersummen helfen. Die angegebenen Finanzierungsbedarfe beziehen sich jedoch auf Unternehmens- und nicht auf Projektebene. Zudem wurden Unternehmen weltweit – also nicht nur in Deutschland – befragt.

DACCS hat derzeit noch hohe Entnahmekosten und Energiebedarfe; die dauerhafte geologische Speicherung ist zudem abhängig von einer CO₂-Infrastruktur

Tabelle 2 Methodensteckbrief DACCS

DACCS	
Beschreibung	Chemische/physikalische Abscheidung von CO ₂ direkt aus der Umgebungsluft; anschließende geologische Speicherung
TRL	4–8, frühe Kommerzialisierung
Kosten je Tonne CO ₂ -Entnahme	Aktuell: 462–1.256 Euro 2035: 201–402 Euro
Kostenverteilung	CAPEX: 15–20 %, OPEX: 80–85 %
Energiebedarf	Hoch (thermische/elektrische Energie)
Skalierungshemmnisse	Energiebedarf, Abhängigkeit von CO ₂ -Transport- und -Speicherinfrastruktur, Kosten
Größte Abscheidekapazität eines aktuellen oder geplanten Projekts in Deutschland	1.400 Tonnen CO ₂ /a (Projekt LiquidSolar Methanol von Greenlyte in Marl, das CO ₂ wird hier jedoch nicht gespeichert, sondern zur Herstellung von e-Methanol verwendet)
Investitionssumme desselben Projekts	~25 Mio. Euro
Finanzierungsbedarf von CDR-Unternehmen nach Eigenangabe	20 % der Unternehmen haben Finanzierungsbedarf >50 Mio. US-Dollar, 40 % 10–50 Mio. US-Dollar, 40 % 2,5–10 Mio. US-Dollar

DACCS weist aktuell ein TRL von 4 bis 8 auf. Einzelne Komponenten – etwa Sorptionsmaterialien oder modulare Abscheideanlagen – wurden bisher im Labormaßstab (TRL 4 bis 5) validiert. Erste Demonstrations- und Pilotanlagen, beispielsweise von Unternehmen wie Climeworks oder Carbon Engineering, erreichen bereits höhere Reifegrade (TRL 7 bis 8). Der Übergang vom Pilot- in den industriellen Großmaßstab ist mit hohen Unsicherheiten hinsichtlich Kosten, Effizienz, Energieverbrauch und Anlagenverfügbarkeit verbunden.

Von den betrachteten neuartigen Entnahmemethoden weist DACCS derzeit die höchsten Entnahmekosten und zugleich die größte Spannweite auf (462 bis 1.256 Euro pro Tonne CO₂). Deutliche Kostenreduktionen bis zum Jahr 2035 sind möglich, beruhen jedoch auf Skaleneffekten, hohen Lernraten und technologischer Optimierung. Unter diesen Voraussetzungen könnten die Kosten bis zum Jahr 2035 auf rund 200 bis 400 Euro je Tonne CO₂ sinken. Lernkurven und Kostenprojektionen für DACCS sind jedoch mit erheblichen Unsicherheiten verbunden.

Aufgrund des hohen Energiebedarfs und der kontinuierlichen Kosten für den Transport und die Speicherung des abgeschiedenen CO₂ ist DACCS OPEX-lastig. Im Jahr 2045 ist davon auszugehen, dass 80 bis 85 Prozent der Entnahmekosten OPEX darstellen werden. Aktuell befindet sich die DACCS-Technologie in Deutschland jedoch auf

einem Pilot- und FOAK-Niveau (First-of-a-Kind). Da die Projektlaufzeiten entsprechender Projekte deutlich kürzer sind als die von großskaligen Projekten, ist bei potenziellen Förderanträgen in Deutschland mit deutlich höheren CAPEX-Anteilen zu rechnen.

Trotzdem fallen für DAC-Projekte auch hohe absolute CAPEX an: Das Projekt mit der aktuell größten angestrebten Abscheidekapazität in Deutschland – LiquidSolar Methanol von Greenlyte in Marl – weist beispielsweise Investitionskosten von rund 25 Mio. Euro auf, bei einer jährlichen Abscheidekapazität von lediglich 1.400 Tonnen CO₂.

Eine weitere Herausforderung von DACCS ist seine Abhängigkeit von einer funktionierenden CO₂-Infrastruktur. Da diese bislang nicht existiert, erfolgt noch bei keinem der bereits operierenden DAC-Projekte in Deutschland eine dauerhafte Speicherung im geologischen Untergrund. Stattdessen wird das abgeschiedene CO₂ momentan zur Herstellung von kurzlebigen Chemieprodukten verwendet. Für die nächsten Jahre streben einige geplante Projekte eine dauerhafte Speicherung mittels beschleunigter Karbonatisierung in Abbruchbeton an.

BECCS weist eine hohe Technologiereife und vergleichsweise moderate Entnahmekosten auf; Risiken sind potenziell zusätzliche Biomassebedarfe und die Abhängigkeit von einer CO₂-Infrastruktur

Tabelle 3 Methodensteckbrief BECCS

BECCS	
Beschreibung	Bioenergieerzeugung + CO ₂ -Abscheidung; anschließend geologische Speicherung
TRL	8, Demonstration / frühe Kommerzialisierung
Kosten je Tonne CO ₂ -Entnahme	Aktuell: 172–314 Euro 2035: 163–228 Euro
Kostenverteilung	CAPEX: 20–30 %, OPEX: 70–80 %
Energiebedarf	Mittel (Prozessenergie, Synergien)
Skalierungshemmnisse	Biomasseverfügbarkeit und entsprechende Flächenkonkurrenzen, Abhängigkeit von CO ₂ -Transport- und -Speicherinfrastruktur
Größte Abscheidekapazität eines aktuellen oder geplanten Projekts in Deutschland	300.000 Tonnen CO ₂ /a (fossil + biogen) (Projekt BREWACCS der Stadtwerke Bremen zur CO ₂ -Abscheidung an einer Müllverbrennungsanlage inklusive Speicherung in der norwegischen Nordsee)
Investitionssumme desselben Projekts	~130–170 Mio. Euro
Finanzierungsbedarf von CDR-Unternehmen	~29 % der Unternehmen haben Finanzierungsbedarf >50 Mio. US-Dollar, ~29 % 10–50 Mio. US-Dollar, ~29 % 2,5–10 Mio. US-Dollar, ~14 % <1 Mio. US-Dollar

BECCS kombiniert etablierte Bioenergieprozesse mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung. Im Rahmen der LNe-Methodenbewertung wurde ein TRL von 8 identifiziert. Einzelne Komponenten – beispielsweise Biomassekraftwerke oder CO₂-Abscheidetechnologien – sind technisch weit entwickelt. Pilotprojekte zeigen die technische Machbarkeit im industriellen Maßstab. Allerdings hängt das TRL von der speziellen BECCS-Anwendung ab, weshalb in der Literatur auch bedeutend niedrigere Werte – beispielsweise 4 bis 6 – genannt werden (Europäische Kommission und Ramboll Management Consulting 2025a). Eine differenzierte Beschreibung der potenziellen BECCS-Anwendungen in Deutschland erfolgt im letzten Abschnitt dieses Kapitels.

Verglichen mit DACCS bewegt sich BECCS bereits heute in einem moderateren Kostenkorridor (172 bis 314 Euro pro Tonne CO₂). Das zukünftige Kostensenkungspotenzial wird aufgrund der vergleichsweise fortgeschrittenen

Technologiereife jedoch als gering eingeschätzt (European Scientific Advisory Board on Climate Change 2025). Im Jahr 2035 kann mit Kosten zwischen 163 und 228 Euro pro Tonne CO₂ gerechnet werden.

Auch BECCS ist tendenziell OPEX-lastig (70 bis 80 Prozent der Entnahmekosten im Jahr 2045). Zwar ist der Energiebedarf nicht so hoch wie bei DACCS, was insbesondere auf die höhere CO₂-Konzentration in Abgasströmen und auf die Möglichkeit zur Nutzung industrieller Synergien zurückzuführen ist. Es fallen jedoch ebenfalls hohe laufende CO₂-Transport- und -Speicherkosten an. Ähnlich wie DACCS befindet sich auch BECCS in Deutschland bislang weitgehend auf Pilot- und FOAK-Niveau. Die geringere Projektlaufzeit entsprechender Projekte sorgt auch hier für deutlich höhere CAPEX-Anteile als oben geschildert.

Gemessen an absoluten Investitionskosten ist BECCS zudem kapitalintensiv. Wie sehr, unterscheidet sich je nach Anwendungsfall und CO₂-Quelle deutlich. Für Abscheideprojekte an großen Anlagen zur thermischen Abfallbehandlung (TAB) sind beispielsweise Investitionssummen von 100 bis 300 Mio. Euro erforderlich. Die hohen Kosten gehen jedoch auch mit hohen Abscheidemengen einher: Beim derzeit größten geplanten TAB-Abscheideprojekt in Deutschland – dem Projekt BREWACCS der Stadtwerke Bremen – wird beispielsweise eine Abscheidekapazität von ca. 300.000 Tonnen CO₂ im Jahr angestrebt. Etwa die Hälfte davon ist biogenen Ursprungs und kann – im Falle einer dauerhaften Speicherung – zu Negativemissionen führen.

Genau wie DACCS ist auch BECCS abhängig von einer funktionierenden CO₂-Infrastruktur. In Ermangelung dieser planen die meisten deutschen BECC-Projekte bisher, das abgeschiedene CO₂ in Abbruchbeton zu karbonatisieren.

Zudem hängt die Klimawirkung von BECCS entscheidend von der Nachhaltigkeit der verwendeten Biomasse ab. Wird der Einsatz nicht auf Rest- und Abfallstoffe im Sinne des Kaskadenprinzips beschränkt, entstehen zusätzliche Biomassebedarfe, die mit indirekten Emissionen und einer gesteigerten Flächenkonkurrenz einhergehen und gegebenenfalls die Erreichung der Ziele für natürliche Senken gefährden können.

Pflanzenkohle weist eine hohe Technologiereife und vergleichsweise geringe Entnahmekosten auf; ein Thema sind potenziell zusätzliche Biomassebedarfe

Tabelle 4 Methodensteckbrief Pflanzenkohle

Pflanzenkohle	
Beschreibung	Pyrolyse von Biomasse (feste Kohlenstoffform); anschließend Einbringung in Böden oder Baustoffen
TRL	8–9, kommerziell verfügbar
Kosten je Tonne CO ₂ -Entnahme	Aktuell: 83–251 Euro 2035: 50–175 Euro
Kostenverteilung	CAPEX: 50–55 %, OPEX: 45–50 %
Energiebedarf	Niedrig bis mittel
Skalierungshemmnisse	Biomasseverfügbarkeit und entsprechende Flächenkonkurrenzen, MRV
Größte Entnahmekapazität eines aktuellen oder geplanten Projekts in Deutschland	8.700 Tonnen CO ₂ /a (geplante Klärschlamm-Pyrolyse der Ökologische Klärschlamm-trocknung Offenhausen GmbH)
Investitionssumme desselben Projekts	~14 Mio. Euro
Finanzierungsbedarf von CDR-Unternehmen	2 % der Unternehmen haben Finanzierungsbedarf >50 Mio. US-Dollar, 13 % 10–50 Mio. US-Dollar, 36 % 2,5–10 Mio. US-Dollar, 29 % 1–2 Mio. US-Dollar, 20 % <1 Mio. US-Dollar

Die Herstellung von Pflanzkohle erfolgt über Pyrolyseverfahren. Die dafür notwendigen Prozesskomponenten sind industriell etabliert und in marktreifen Anwendungen verfügbar. Unternehmen wie Pyreg bieten serienmäßige Anlagen an. Die Technologie wurde innerhalb der LNe-Methodenbewertung daher als nahezu marktreif eingestuft (TRL 8 bis 9). Das technologische Risiko ist gering; wirtschaftliche und regulatorische Risiken stellen die entscheidendere Herausforderung bei der Realisierung neuer Projekte dar. Zudem besteht weiterhin Forschungspotenzial hinsichtlich der optimalen Ausgestaltung des MRV sowie der langfristigen ökologischen Auswirkungen der Ausbringung von Pflanzkohle auf Böden.

Pflanzkohle ist aktuell die kostengünstigste Entnahmemethode im Minimalwert (83 bis 251 Euro pro Tonne CO₂) und zeigt Potenzial für weitere Kostensenkungen bis 2035 (50 bis 175 Euro pro Tonne CO₂). Trotz der vergleichsweise fortgeschrittenen Technologiereife ist auch in Zukunft noch mit einer signifikanten Kostenspannbreite zu rechnen, was auf unterschiedliche Anlagengrößen, Rohstoffqualitäten und Geschäftsmodelle zurückzuführen ist.

Etwas mehr als die Hälfte der Entnahmekosten stellen CAPEX dar (50 bis 55 Prozent). Der Rest entfällt auf OPEX, wobei Rohstoffkosten den Großteil ausmachen.

Auch die Pyrolyse geht mit signifikanten Investitionskosten einher, allerdings sind geringere Summen erforderlich als bei BECCS und DACCS. Das größte Projekt in Deutschland wird aktuell von der Ökologische Klärschlamm-trocknung Offenhausen GmbH geplant. Mittels Klärschlamm-Pyrolyse sollen hier jährlich CO₂-Entnahmen in Höhe von bis zu 8.700 Tonnen entstehen. Hierfür sind Investitionen von rund 14 Mio. Euro veranschlagt.

Die Klimawirkung von Pflanzkohle hängt – ebenso wie bei BECCS – entscheidend von der Verwendung nachhaltiger Biomasse ab. Nur eine Beschränkung auf Rest- und Abfallstoffe kann zusätzliche Biomassebedarfe verhindern und eine Verschärfung bestehender Flächenkonkurrenzen vermeiden.

Beschleunigte Verwitterung weist derzeit noch eine geringe Technologiereife auf; zentraler Kostenfaktor sind die OPEX

Tabelle 5 Methodensteckbrief Beschleunigte Verwitterung

Beschleunigte Verwitterung	
Beschreibung	Ausbringung fein gemahlener Silikat- oder Karbonatgesteine zur beschleunigten natürlichen Verwitterung
TRL	5–6, Pilotphase
Kosten je Tonne CO ₂ -Entnahme	Aktuell: 94–740 Euro 2035: 92–200 Euro
Kostenverteilung	CAPEX: 15–25 %, OPEX: 75–85 %
Energiebedarf	Gering bis hoch, besonders abhängig vom Mahlaufwand
Skalierungshemmnisse	Bergbaukapazitäten, Transport des Gesteinsmehls, MRV
Größte Entnahmekapazität eines aktuellen oder geplanten Projekts in Deutschland	5.000 Tonnen CO ₂ /a (Projekt ZX-24 Vulkaneifel von ZeroEx in Rheinland-Pfalz)
Investitionssumme desselben Projekts	Nicht bekannt
Finanzierungsbedarf von CDR-Unternehmen	33 % der Unternehmen haben Finanzierungsbedarf von 2,5–10 Mio. US-Dollar, 50 % 1–2,5 Mio. US-Dollar,

Beschleunigte Verwitterung

17 % <1 Mio. US-Dollar

Die beschleunigte Verwitterung basiert auf der Ausbringung fein gemahlener Silikat- oder Karbonatgesteine zur natürlichen CO₂-Bindung. Während die geochemischen Grundlagen wissenschaftlich gut belegt sind, befinden sich großskalige Anwendungen noch in der Pilotphase. In der Literatur besteht eine große Spannweite an TRL-Angaben. So geben European Commission and Ramboll Management Consulting (2025a) einen TRL von 3 bis 4 an, während Lübbers et al. (2026) die Technologiereife zwischen 7 und 9 verorten. Die LNe-Methodenbewertung ordnet sich mit einem TRL zwischen 5 und 6 in der Mitte ein. Dies lässt darauf schließen, dass derzeit noch erhöhter Bedarf nach F&E besteht, wenngleich bereits erste Deployment-Projekte durchgeführt werden.

Für die beschleunigte Verwitterung ist die Spannweite aktueller Kostenangaben sehr hoch (94 bis 740 Euro pro Tonne CO₂). Verantwortlich hierfür sind große Unsicherheiten hinsichtlich Logistik, Mahlgrad, Standortbedingungen und MRV. Deutliche Kostensenkungen bereits bis zum Jahr 2030 sind möglich. Die erwartete Preisspanne für 2035 liegt bei 92 bis 200 Euro pro Tonne CO₂. Zusammen mit Pflanzenkohle liegt die beschleunigte Verwitterung damit am unteren Ende der zukünftig erwarteten Entnahmekosten.

Bei der beschleunigten Verwitterung sind anteilig nur geringe CAPEX erforderlich. Kostentreiber sind die OPEX (75 bis 85 Prozent). Sie fallen insbesondere für den Erwerb von zerkleinertem Gestein in Steinbrüchen, den anschließenden Transport des Gesteinsmehls und das vergleichsweise aufwendige MRV nach Ausbringung auf den Feldern an.

Das derzeit einzige Umsetzungsprojekt in Deutschland – ZX-24 Vulkaneifel – wird von ZeroEx betrieben. Es hat eine jährliche Entnahmekapazität von 5.000 Tonnen CO₂ und bereits Entnahmezertifikate auf dem VCM veräußern können. Über die Investitionssumme des Projekts liegen der dena bislang keine Informationen vor.

Staatliche Unterstützung ist essenziell, damit Unternehmen für neuartiges CDR das Valley of Death überstehen

Neuartige Entnahmemethoden – mit Ausnahme von Pflanzenkohle – weisen derzeit mittlere TRLs zwischen 4 und 8 auf. Sie sind gerade im Vergleich zu natürlichen Senken mit hohen Kosten verbunden. Projektbetreiber können diese Kosten bislang nicht hinreichend verlässlich über den Verkauf von Entnahmezertifikaten decken. First Mover gehen erhebliche Investitionsrisiken ein und leisten Skalierungsarbeit, von der der zukünftige Markt profitiert. In dieser frühen Markthochlaufphase kann staatliche Förderung dazu beitragen, dass Investitionsentscheidungen getroffen und dadurch Kostendegressionen realisiert werden.

Obwohl die Notwendigkeit neuartiger Entnahmen zur Erreichung nationaler und globaler Klimaziele anerkannt ist, sind zu ihrer Skalierung noch keine hinreichenden Rahmenbedingungen gegeben. Aktuell kommen viele Projekte nur schwer über das Konzeptstadium hinaus, obwohl sie sich aus technischer Sicht schon heute auf großskaligem Niveau realisieren ließen (Schenuit und Treß 2025). Falls in den nächsten Jahren keine adäquaten Förder- und Nachfrageinstrumente geschaffen werden, drohen neuartige CO₂-Entnahmen auf einen kleinen Kreis freiwilliger Käufer beschränkt zu bleiben, anstatt sich zu einer integralen Säule der Klimapolitik zu entwickeln (CDR.fyi 2026a). Die daraus resultierenden unsicheren Einnahmeperspektiven erschweren die Kapitalmobilisierung erheblich, insbesondere für junge Unternehmen ohne gesicherte Abnahmeverträge.

Marktbeobachter halten die nächsten fünf Jahre für entscheidend, damit bisherige First Mover das Valley of Death überstehen können. So geht Carbon Direct (2026) beispielsweise davon aus, dass mehr als 80 Prozent der globalen Projektpipeline neuartiger Entnahmeprojekte für 2030 aufgrund von unzureichenden Abnahme- oder Finanzierungsvereinbarungen gefährdet sind.

Einige technische Prozesse bieten Anschlussfähigkeit für die CO₂-Entnahme, ihre Potenziale sind jedoch nur eingeschränkt erschließbar

Im Folgenden wird eine Auswahl technischer Prozesse beschrieben, bei denen sich Möglichkeiten zur Erzeugung von CO₂-Entnahmen ergeben. Die ausgewählten Prozesse eint, dass sie im Zusammenhang mit der Biomassenutzung stehen und Möglichkeiten zur Abscheidung und Speicherung von biogenem CO₂ (also BECCS) bieten. Dies kann systemisch und wirtschaftlich sinnvoll sein und sich zudem zeitnah umsetzen lassen. Das Potenzial wird jedoch durch die Verfügbarkeit nachhaltiger Biomasse limitiert. In Deutschland wird Biomasse bereits umfassend als erneuerbarer Energieträger im Energie- und Verkehrssektor und in geringerem Maße stofflich in der Industrie eingesetzt. Die Nutzungskonkurrenzen dürften im Zuge einer sich ausdehnenden Bioökonomie weiter zunehmen (Thrän et al. 2025).

Investitionen in Anlagen zur CO₂-Entnahme könnten unter Umständen zusätzliche Nachfrage nach Biomasse erzeugen. Sofern die Biomasse aus nicht nachhaltigen Quellen stammt oder (indirekte) Landnutzungseffekte auftreten, kann sich dies negativ auf die natürliche Senkenleistung im LULUCF-Sektor auswirken. Deshalb sind die energetische Nutzung von Abfall- und Reststoffen sowie die Kaskadennutzung von biogenen Ressourcen im Einklang mit den Anforderungen der europäischen Renewable Energy Directive (RED III) zu priorisieren.

Für alle CCS-basierten Prozesse gilt zudem, dass der Anschluss an eine CO₂-Infrastruktur für den Transport und die Speicherung des abgeschiedenen CO₂ zwingend erforderlich ist. Bislang liegen in Deutschland jedoch noch keine konkreten Pläne für den Infrastrukturhochlauf vor, der zudem mit erheblichen Investitionsbedarfen und zeitlichen Vorläufen verbunden ist.

Thermische Abfallbehandlung (TAB)

Thermische Abfallbehandlungsanlagen umfassen unter anderem Müllverbrennungsanlagen (MVA), Ersatzbrennstoffkraftwerke (EBS), Klärschlammverbrennungsanlagen sowie industrielle Anlagen zur Mitverbrennung von Abfällen. In MVA und EBS werden hauptsächlich Siedlungsabfälle verbrannt und damit wird Energie erzeugt. In Deutschland existieren 66 MVA sowie circa 30 EBS (UBA 2018). Typischerweise ist rund die Hälfte der CO₂-Emissionen biogenen Ursprungs. Durch eine der Verbrennung nachgeschaltete CO₂-Abscheidung und -Speicherung können CO₂-Entnahmen erzeugt werden.

Selbst bei einem konsequenten Ausbau der Kreislaufwirtschaft besteht zukünftig auch weiterhin die Notwendigkeit, Abfälle am Ende des Lebenszyklus thermisch zu verwerten, weshalb ein Lock-in-Risiko durch CCS als gering einzuschätzen ist (UBA 2023; Pour et al. 2018). Im Fall der Klärschlammverbrennung ist CCS aufgrund des Energiebedarfs für die Trocknung des Substrats mit hohem Wassergehalt energieaufwendig, weshalb in der Regel kein nennenswerter Energieüberschuss entsteht. Deshalb ist CCS in diesem Fall in der Regel keine wirtschaftliche Option. Stattdessen ist es zukünftig denkbar, Klärschlamm vermehrt der Pyrolyse zuzuführen und so Pflanzenkohle und weitere nutzbare Stoffe zu erzeugen. Allerdings ist das Verfahren noch nicht im Industriemaßstab erprobt (TRL ca. 4 bis 6) (Sharma et al. 2024). Relevante industrielle Anlagen zur Mitverbrennung von Abfällen gibt es hauptsächlich in der Zement- und Kalkindustrie.

Zement- und Kalkindustrie

Bei der Herstellung von Zementklinker oder Kalk entfallen etwa zwei Drittel der Emissionen auf fossile Prozessemissionen. Das andere Drittel entsteht brennstoffbedingt – aktuell vorwiegend durch die Verbrennung von Kohle (Kalkindustrie) beziehungsweise von Ersatzbrennstoffen (Zementindustrie). Die Prozessemissionen entstehen durch eine chemische Reaktion bei der Kalzinierung von Kalkstein ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$), was auch durch eine Umstellung der verwendeten Brennstoffe nicht vermieden werden kann. Sofern die Prozessemissionen nicht durch andere Minderungsmaßnahmen wie die Substitution vermieden werden, ist CCS für sie die einzige

Möglichkeit zur Emissionsreduktion. An der Abscheideanlage werden nicht nur die Prozessemissionen, sondern auch die Brennstoffemissionen abgeschieden. Werden die Brennstoffe ganz oder teilweise durch biogene Energieträger (insbesondere biogene Abfall- und Reststoffe) ersetzt, können für diesen Anteil bilanziell Negativemissionen entstehen. In Deutschland existieren rund 50 Anlagen zur Kalkherstellung und 35 Anlagen zum Brennen von Zementklinker. Während in der Zementindustrie bereits heute zu einem Viertel biogene Brennstoffe eingesetzt werden, ist ihr Einsatz in der Kalkindustrie noch nicht weit verbreitet (VDZ 2024b; BV Kalk 2024). In beiden Fällen ist in Zukunft mit einem steigenden Anteil biogener Emissionen zu rechnen (VDZ 2024a). Abseits der CO₂-Abscheidung und -Speicherung können kalziumreiche Bestandteile von Zement- und Kalkprodukten CO₂ dauerhaft in stabilen Karbonaten binden. Mögliche Anwendungen sind Abbruchbeton, aber auch Flugaschen oder CO₂-gehärtete Bindemittel. Voraussetzung für Negativemissionen ist dabei ein atmosphärischer oder biogener CO₂-Ursprung sowie die Betrachtung der Nettobilanz.

Biogas und Biomethan

In Deutschland gibt es rund 8.500 Biogasproduktionsanlagen und ca. 280 Biogasaufbereitungsanlagen (dena 2026; DBFZ 2023). Bei Biogasanlagen mit Vor-Ort-Verstromung entsteht biogenes CO₂ als Verbrennungsabgas, das mittels einer CCS-Anlage abgeschieden und gespeichert werden kann. Biomethanaufbereitungsanlagen trennen CO₂ prozessbedingt vom Methan ab. Dieser konzentrierte biogene CO₂-Teilstrom wird derzeit meist emittiert und könnte ohne zusätzliche Abscheidungstechnik zur dauerhaften Speicherung aufbereitet werden. Herausfordernd ist in beiden Fällen die dezentrale Lage der Anlagen und ihre vergleichsweise geringe Größe, was die Aufwände für die CO₂-Aufbereitung und den Transport erhöht.

Bioethanol und Fermentations-CO₂

Die Bioethanolproduktion erzeugt im Fermentationsprozess konzentriertes, biogenes CO₂ als Koprodukt, das bisher ungenutzt bleibt. Es könnte ohne zusätzliche Abscheidungstechnik zur dauerhaften Speicherung aufbereitet werden. Die Jahresproduktionskapazität deutscher Ethanolwerke beträgt rund 700.000 bis 800.000 Tonnen Ethanol (BDBE 2026). Ethanol, das eigentliche Produkt, wird in Deutschland größtenteils als Kraftstoffbeimischung genutzt (insbesondere E10), es entstehen dabei keine Negativemissionen. Eine mögliche Nutzung als Grundstoff für langlebige Chemieprodukte, in denen Kohlenstoff dauerhaft gebunden bleibt, könnte hingegen unter Umständen Potenziale für die CO₂-Entnahme bieten.

Biomasseheizkraftwerke und Industriekraftwerke

Biomasseheizkraftwerke (BMHKW) verbrennen Biomasse zur Erzeugung von Strom und Wärme. Eine der Verbrennung nachgeschaltete CCS-Anlage kann die dabei entstehenden biogenen CO₂-Emissionen abscheiden und der dauerhaften Speicherung zuführen. Angaben zur genauen Anzahl von BMHKW in Deutschland liegen nicht vor, es gibt aber mehr als 700 EEG-geförderte feste Biomasseanlagen (Fraunhofer IEE et al. 2024). Analysen des UBA (2018) beziffern die Anlagenanzahl mit einer elektrischen Leistung von mehr als 5 Megawatt auf 56. Sie verbrennen überwiegend Altholz. Aufgrund von Skalierungseffekten eignen sich große Anlagen besser für die CO₂-Abscheidung. Wie bei anderen BECCS-Entnahmemethoden beugt die Nutzung von biogenen Rest- und Abfallstoffen Landnutzungskonflikten vor und senkt den Druck auf bestehende Kohlenstoffspeicher im LULUCF-Sektor im Vergleich zum Einsatz von Primärbiomasse und Energiepflanzen (Fajardy und Mac Dowell 2017). Neben der gasförmigen CO₂-Abscheidung könnten biogene Rest- und Abfallstoffe auch vermehrt der Pyrolyse zugeführt werden, um den biogenen Kohlenstoff in Pflanzenkohle langfristig zu binden (Thrän et al. 2025).

Industriekraftwerke mit Biomasseeinsatz sind Anlagen, die in erster Linie Reststoffe und Abfälle aus der Produktion verfeuern und dadurch Energie für das Unternehmen bereitstellen. Ein Teil des eingesetzten Brennstoffs dürften Reste aus der Holzverarbeitung sein, weshalb prinzipiell auch hier eine nachgeschaltete CCS-Anlage zur Erzeugung

von Negativemissionen denkbar wäre. Allerdings liegen zum Brennstoffeinsatz und zur energetischen Nutzung keine genauen Daten vor. Das UBA (2018) beziffert die Anzahl der Anlagen in Deutschland auf 31.

Papier- und Zellstoffindustrie

In Zellstoffwerken entsteht aus dem Ausgangsstoff industrieller Holzbiomasse im Produktionsprozess Schwarzlauge, die zur Energieerzeugung und zur Chemikalienrückgewinnung verbrannt wird. Die dabei entstehenden CO₂-Emissionen biogenen Ursprungs könnten mit einer nachgeschalteten CCS-Anlage abgeschieden und dauerhaft gespeichert werden. In Deutschland gibt es sechs integrierte Zellstoffwerke. Verglichen mit anderen BMHKW oder industriellen Kraftwerken sind diese Anlagen deutlich größer – entsprechend fallen mehr biogene CO₂-Emissionen an. Eine zu einer potenziellen Entnahme alternative stoffliche Nutzung des in der Schwarzlauge enthaltenen Kohlenstoffs, zum Beispiel zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen, stünde jedoch in Konkurrenz mit der energetischen Nutzung und CO₂-Abscheidung und -Speicherung.

4 Investitionsförderung ist ein geeignetes Einstiegsinstrument

In der frühen Marktphase ohne etablierte Nachfrage kann Investitionsförderung die Realisierungswahrscheinlichkeit von Projekten erhöhen

Der Markt für CO₂-Entnahmen ist noch in einer Phase der Marktbildung, mit Herausforderungen sowohl auf Angebots- als auch auf Nachfrageseite. Weil die Schaffung gesicherter Nachfrage über Compliance-Märkte ein möglicher Lösungsansatz ist, der noch komplexe politische und regulatorische Entscheidungsprozesse auf EU-Ebene durchlaufen muss, sollte Deutschland kurz- bis mittelfristig die Realisierungswahrscheinlichkeit von CO₂-Entnahmeprojekten anderweitig unterstützen.

Viele neuartige CO₂-Entnahmetechnologien sind kapitalintensiv durch hohe Investitionsausgaben für langlebige Anlagegüter wie Maschinen, Anlagen oder Infrastruktur. Obwohl Kostenentwicklungsprognosen vieler Methoden langfristig vielversprechend erscheinen, führen hohe anfängliche Investitionen zu langen Amortisationszeiträumen. Zugleich sind Käufer häufig nicht bereit, langfristige Abnahmeverträge einzugehen, da sie sich weder auf derzeit hohe Preise noch auf einzelne Technologien oder Anbieter festlegen wollen. Dadurch verschlechtern sich Risiko-Rendite-Profile und die Kreditwürdigkeit der Projekte, was endgültige Investitionsentscheidungen erheblich erschwert (BCG und DVNE 2025). Öffentliche Mittel sind daher wichtig, um die anfänglichen Hürden zu überwinden (Europäische Kommission und Ramboll Management Consulting 2025b).

Um die Realisierungswahrscheinlichkeit dieser Projekte zu erhöhen, ist ein staatliches Investitionsförderungsprogramm ein geeignetes Instrument: Die Förderung mindert die effektiven Investitionskosten der Unternehmen und verbessert damit die Finanzierungsfähigkeit der Projekte. Dadurch können Investitionsrisiken verringert, der Zugang zu privatem Kapital kann erleichtert und Zinskosten können gesenkt werden.

Vorteilhaft ist ferner, dass es bereits positive Erfahrungen mit Investitionsförderung gibt, beispielsweise bei der Gründungs- oder Innovationsförderung sowie der Förderung anderer klimafreundlicher Technologien. Die Umsetzung zahlreicher Projekte im Programm „Reallabore der Energiewende“ beispielsweise zeigt, dass Investitionsförderungen insbesondere in der frühen Phase des Markthochlaufs eine zentrale Rolle für die Umsetzung von Projekten spielen (BMW 2026a). Es gibt außerdem bereits eine Reihe von Förderprogrammen, die CDR teilweise – jedoch unzureichend – adressieren (siehe Kapitel 5).

Die Investitionsförderung kann über verschiedene Instrumente erfolgen, etwa Investitionszuschüsse, Kredite oder fiskalische Instrumente wie Steuerbegünstigungen. Insbesondere Investitionszuschüsse kommen in Betracht. Durch sie können Pilot- und Demonstrationsprojekte realisiert und so die Weiterentwicklung und Skalierung marktreifer Technologien (TRL 7 bis 9) vorangetrieben werden. Zur Unterstützung von Technologien mit niedrigerem TRL (1 bis 6) erscheint weiterhin eine Förderung von F&E zu ihrer Erprobung, Verbesserung und Weiterentwicklung sinnvoll. Beide mögliche Säulen eines Investitionsförderungsprogramms werden im Folgenden näher beschrieben.

Investitionszuschüsse

Durch Investitionszuschüsse erhalten Unternehmen eine Fördersumme für getätigte Investitionen und reduzieren damit das benötigte Fremdkapital. Die Förderhöhe pro Projekt kann dabei entweder direkt festgelegt oder durch Ausschreibungsverfahren ermittelt werden. Dabei ist die Kostenstruktur der jeweiligen geförderten Technologie und des respektiven Projekts relevant (MVV Energie AG 2025).

Investitionszuschüsse sind insbesondere für Demonstrations- bzw. First-Mover-Projekte mit TRL 7 bis 9 ein geeignetes Förderinstrument (Europäische Kommission und Ramboll Management Consulting 2025b), da sie hohe Vorlaufkosten senken und damit die Realisierungswahrscheinlichkeit von Projekten steigern. Sie adressieren insbesondere Projekte mit Wirtschaftlichkeitslücken und hoher Kapitalintensität.

Kapitalintensive Entnahmemethoden profitieren besonders von Investitionszuschüssen

In einer kürzlich durchgeführten Studie wurden CDR-Unternehmen nach Herausforderungen bei der Beschaffung von Finanzmitteln gefragt. 67 Prozent der Befragten gaben an, eine Finanzierung über Zuschüsse und Subventionen anzustreben (CDR.fyi und Planet 2050 2025). Die angegebenen Finanzierungsbedarfe unterscheiden sich stark nach Entnahmemethode (siehe Abbildung 7). Bei einer Interpretation der Ergebnisse muss jedoch berücksichtigt werden, dass es sich um Finanzierungsbedarfe auf Unternehmensebene und nicht auf einzelner Projektebene handelt.

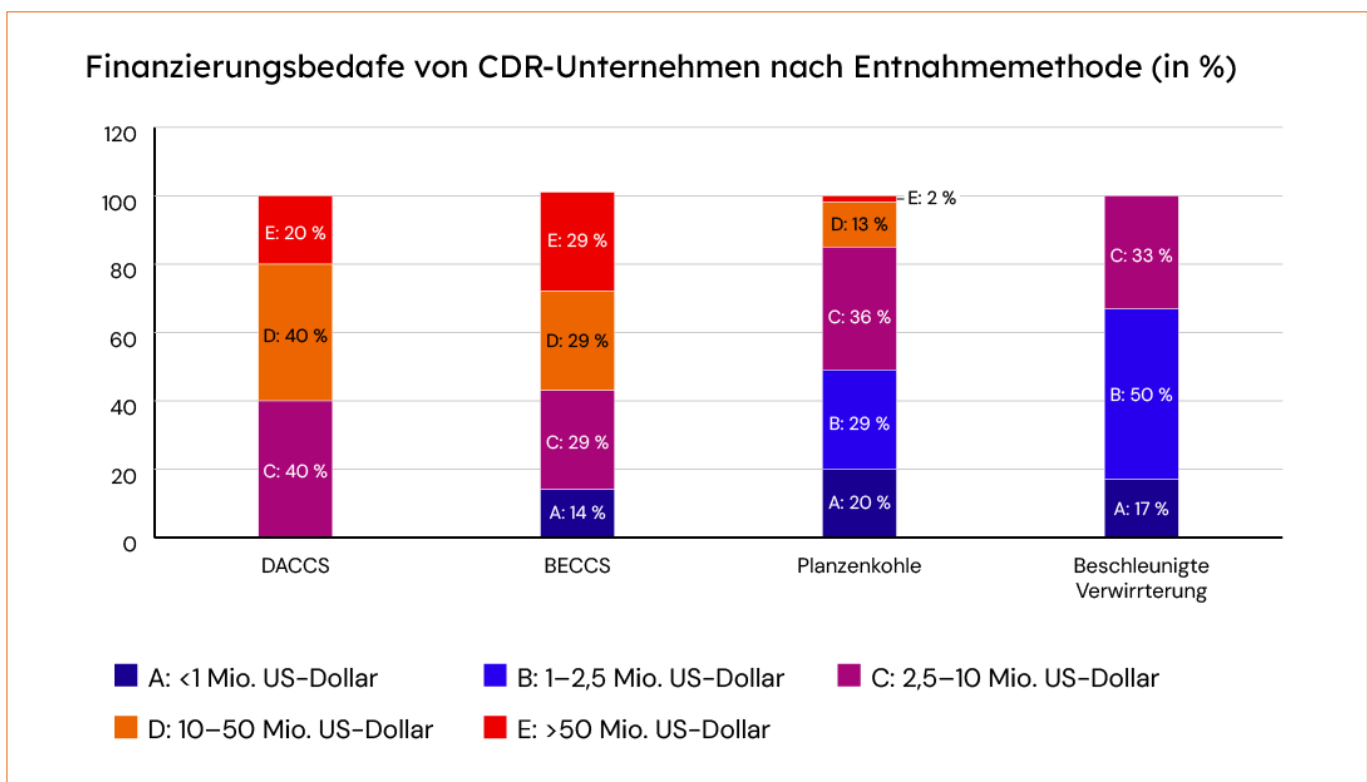


Abbildung 7 Finanzierungsbedarfe von CDR-Unternehmen nach Entnahmemethode (eigene Darstellung basierend auf CDR.fyi und Planet 2050 (2025))

Von Investitionszuschüssen profitieren besonders kapitalintensive Entnahmemethoden wie DACCS und BECCS (siehe Kapitel 3), was sich auch in den Befragungsergebnissen widerspiegelt. DACCS weist sehr hohe absolute CAPEX für Anlagen und Infrastruktur sowie einen hohen Energiebedarf pro Tonne entnommenem CO₂ auf (BCG und DVNE 2025). Auch bei BECCS gibt es hohe Infrastruktur- und Anlagenkosten.

Bei Pflanzenkohle können Projekte grundsätzlich von Investitionszuschüssen profitieren, da ebenfalls Investitionen in technische Anlagen notwendig sind. Allerdings sind die absoluten CAPEX geringer, zusätzlich bietet diese Entnahmemethode durch den Verkauf der Pflanzenkohle und die Bereitstellung von erneuerbarer Wärme bereits ein funktionierendes Geschäftsmodell und weist aktuell die niedrigsten Entnahmekosten auf. Daher sind derartige Projekte weniger auf Investitionsförderung angewiesen als andere Entnahmetechnologien. Bei der beschleunigten Verwitterung sind CAPEX nicht der wichtigste Kostentreiber (siehe Kapitel 3). Außerdem sind die Technologie und

das MRV zur Überprüfung der Entnahmeleistung teils weniger entwickelt. Dementsprechend ist hier eher eine F&E-Förderung (siehe unten) angebracht.

F&E-Förderung

Die staatliche F&E-Förderung unterstützt die Entwicklung innovativer, verbesserter und umweltintegrer Verfahren zur CO₂-Entnahme und führt damit mittel- bis langfristig zu weiteren Kostendegressionen (MVV Energie AG 2025). Zudem können die Weiterentwicklung und der Einsatz von MRV unterstützt werden (Europäische Kommission und Ramboll Management Consulting 2025b). Ähnlich wie bei der Investitionsförderung können Ausgaben für Sachgüter unterstützt werden, wie beispielsweise Labore, Versuchseinrichtungen oder Prototypen, aber auch laufende Kosten wie Löhne. Ein Beispiel für ein bestehendes F&E-Förderprogramm ist die Förderrichtlinie „Forschung und Entwicklung an Batterietechnologien für technologisch souveräne, wettbewerbsfähige und nachhaltige Batteriewertschöpfungsketten“ (B@TS) des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR), die projektbezogene Ausgaben mit bis zu 50 Prozent für Unternehmen und bis zu 100 Prozent für Hochschulen und Forschungsinstitute fördert.

F&E-Förderung erscheint bei Technologien mit großem Kostenreduktionspotenzial in frühem Entwicklungsstadium (TRL 1 bis 6) sinnvoll, da Innovationsrisiken gesenkt sowie die Entwicklung von neuartigen Technologien und ihre Überführung in die Marktreife unterstützt werden (Europäische Kommission und Ramboll Management Consulting 2025b). Besonders kleinere Projekte und Start-ups bzw. Spin-offs könnten von einer F&E-Förderung profitieren. Außerdem kann sich F&E-Förderung dazu eignen, spezifische Umweltwirkungen besser zu verstehen und auch in dieser Hinsicht Weiterentwicklungen zu erzielen. Insbesondere die Förderung von anwendungsnahen Forschungsvorhaben kann die schnellere Realisierung von Demonstratoren und Piloten unterstützen und ist im Bereich CO₂-Entnahme eine sinnvolle Ergänzung zur Investitionsförderung.

Mittel- bis langfristig ist ein Mix an Förderinstrumenten erforderlich, um Investitionsrisiken in unterschiedlichen Marktphasen zu adressieren

Ohne eine gesicherte Nachfrageperspektive bleiben Investitionen trotz Förderung mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Wie oben ausgeführt, erhöhen Investitionszuschüsse die Realisierungswahrscheinlichkeit von Projekten, insbesondere bei hohen Investitionskosten. Derzeit existiert aber noch keine verlässliche Nachfrage nach neuartigen CO₂-Entnahmen, daher ist mittel- bis langfristig ein entsprechender Marktrahmen zentral. Bis dahin könnte ein (zeitlich begrenztes) Ankaufprogramm den VCM stärken und die Nachfrage anreizen. Entsprechende Fortschritte bei Technologien, Umweltwirkungen und Kosten würden wiederum auch dazu beitragen, den Marktrahmen sicherer, leichter und potenziell auch umfassender abstecken zu können. Um im Verlauf der Marktentwicklung unterschiedliche Investitionsrisiken zu adressieren, sollte ein Mix verschiedener Förderinstrumente je nach Marktphase in Betracht gezogen werden. Instrumente, die auf CO₂-Differenzverträgen (engl. Carbon Contracts for Difference, CCfD) basieren, sind zwar grundsätzlich geeignet, da sie alle Kostenelemente abdecken, die Unsicherheit hinsichtlich der künftigen CO₂-Bepreisung verringern und so Investitionssicherheit schaffen. Bis Mitte der 2030er Jahre sind sie jedoch schwer umsetzbar: Zunächst müsste eine Integration von CO₂-Entnahme in den EU-ETS erfolgen. Bei voraussichtlich noch niedrigen ETS-Preisen wären zudem hohe Fördersummen erforderlich (BAK economic intelligence und dena 2025).

Insgesamt erscheint daher eine Kombination von Fördermitteln zunächst in Form von Investitionszuschüssen zur Realisierung erster Projekte, später einem Ankaufprogramm und im weiteren Markthochlauf gegebenenfalls CCfD angebracht. Perspektivisch erscheint es ratsam, die Wirtschaftlichkeit von Entnahmeprojekten über verursachergerechte Mechanismen wie eine EU-ETS-Integration zu erhöhen, sodass ein selbsttragender Markt entsteht.

5 Die bestehende Förderlandschaft deckt Investitionen in neuartige Entnahmeprojekte noch nicht ausreichend ab

Förderung von Grundlagenforschung ist wichtig; sie muss mit zunehmender Technologiereife aber durch Förderung von Anwendung und Skalierung ergänzt werden

Neuartige CO₂-Entnahmemethoden weisen in verschiedenen Bereichen noch F&E-Bedarf auf. Dazu gehören technologische Reife, Wirtschaftlichkeit, ökologische Auswirkungen und Systemkompatibilität. Angesichts der Notwendigkeit der CO₂-Entnahme zur Erreichung globaler Klimaziele ist eine weitere Stärkung von F&E unerlässlich.

Die Bundesregierung hat die strategische Bedeutung der CO₂-Entnahme erkannt und sie in der „Hightech Agenda 2025“ als zentrales Innovationsfeld für die zukünftige Wirtschaftskraft definiert (BMFTR 2025). Bereits seit dem Jahr 2021 investiert die Bundesregierung in die Grundlagenforschung zu CDR. Die Fördermaßnahme „CDRterra“ zu landbasierten Verfahren zur CO₂-Entnahme erhielt in Phase I rund 21 Mio. Euro (BMFTR 2024). Die Forschungsmission „Marine Kohlenstoffspeicher als Weg zur Dekarbonisierung“ („CDRmare“) erhält 26 Mio. Euro (BMFTR 2020). Diese interdisziplinär angelegten Programme leisten einen wesentlichen Beitrag dazu, dass Wissenslücken zu bestehenden CO₂-Entnahmemethoden geschlossen und gänzlich neue Methoden erschlossen werden. Zudem erforschen sie wichtige Fragen zur Governance von CO₂-Entnahmen und zur gesellschaftlichen Einbettung der CO₂-Entnahme. Die Zwischenergebnisse dieser Programme unterstreichen die Notwendigkeit eines schnellen Hochlaufs der CO₂-Entnahme in Deutschland. Die größte Hürde für den Hochlauf liegt dabei nicht in der Technik, sondern in der Umsetzung (Bodirsky et al. 2025). Zur schnellen Umsetzung und Validierung der wissenschaftlichen Erkenntnisse braucht es weiterführende Technologieentwicklung und Pilotprojekte (CDRmare 2024).

Die EU weist nach Analysen von Carbon Gap bei der F&E-Förderung der CO₂-Entnahme ein erhebliches Investitionsdefizit auf. Berücksichtigt man den Anteil der EU am globalen Bruttoinlandsprodukt (BIP), müssten ihre öffentlichen Ausgaben für CDR-Innovationen zwischen 2,9 und 5,9 Mrd. Euro erreichen. Bisher wurden jedoch lediglich rund 660 Mio. Euro verwendet (Carbon Gap 2026). Die verfügbaren F&E-Fördermittel in Nordamerika übersteigen jene der EU um mehr als das Doppelte und liegen auch unter Berücksichtigung des BIP über dem EU-Niveau. Großbritannien, Norwegen und die Schweiz unterstützen zusammengekommen annähernd so viele F&E-Projekte zur CO₂-Entnahme wie die gesamte Europäische Union (Müller-Hansen et al. 2025).

Jenseits der Förderung von CDR-Grundlagenforschung mangelt es in Deutschland derzeit noch an anwendungsorientierter F&E-Förderung. Diese kann dabei helfen, Grundlagen in die Praxis zu überführen, beispielsweise durch die Förderung von Pilot- und Demonstrationsvorhaben oder von marktorientierten Skalierungsaktivitäten. Ohne sie droht der Anschluss an die internationale Marktentwicklung verloren zu gehen, sobald Entnahmemethoden die Phase der Grundlagenforschung verlassen.

Entnahmeprojekte sind in bestehenden Förderprogrammen nicht im Fokus

Öffentliche Investitionen in Entnahmemethoden erfolgen in Deutschland überwiegend indirekt oder nur entlang einzelner Stufen der Wertschöpfungskette. Die CO₂-Entnahme selbst steht dabei meist nicht im primären Fokus der Förderung, sondern ist eher ein Nebenaspekt (beispielsweise bei bestehenden Förderungen von CCU-Anwendungen oder der stofflichen Biomassenutzung).

Die Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (BIK) fördert in Modul 2 Investitionen in Demonstrationsprojekte und F&E zu CCS in der Abfallwirtschaft sowie zu DACCS und der beschleunigten Karbonatisierung (siehe unten). Weitere Förderprogramme, die gezielt die Umsetzung oder Skalierung von CO₂-Entnahmen in der Praxis unterstützen – beispielsweise über anwendungsorientierte Forschung oder Pilot- oder Demonstrationsprojekte – konnten im Rahmen dieser Marktanalyse nicht identifiziert werden.

Auch auf EU-Ebene sind CO₂-Entnahmetechnologien in verschiedenen Förderprogrammen grundsätzlich förderfähig, jedoch meist nicht im Zentrum der Förderung. Modalitäten und Umfang unterscheiden sich stark. Bis zum Jahr 2025 erfolgte kaum direkte Förderung von neuartigen CO₂-Entnahmeprojekten. Analysen der Europäischen Kommission und Ramboll Management Consulting (2025b) zeigen, dass von insgesamt rund 18 Mrd. Euro verfügbaren Mitteln europäischer Förderprogramme, unter denen auch CO₂-Entnahme förderfähig ist, bis März 2025 lediglich 329 Mio. Euro an elf Entnahmeprojekte vergeben wurden.

Gleichwohl ist insbesondere bei der F&E-Förderung seit dem Jahr 2025 ein qualitativer Wandel hin zur gezielten Unterstützung von CO₂-Entnahmen erkennbar. Während aus dem Budget von Horizon Europe zwischen 2023 und 2024 lediglich rund 1 Prozent direkt an Entnahmeprojekte floss, steigt dieser Anteil auf 2,4 Prozent für den Zeitraum von 2025 bis 2027 (Carbon Gap 2025). Im Fokus stehen dabei CCS-basierte Entnahmemethoden, allen voran DACCS.¹⁵

Die Förderung großskaliger CO₂-Entnahmeprojekte erfolgt vor allem über den EU-Innovationsfonds. Bislang förderte dieser aber lediglich eine Handvoll von Entnahmeprojekten direkt.¹⁶ Zudem liegt der Fokus des Fonds auf der Wertschöpfungskette für CO₂-Abscheidung und -Nutzung oder -Speicherung (engl. Carbon Capture and Utilization/Storage, CCU/S). Dies inkludiert fossiles CCU/S, die CO₂-Infrastruktur und MRV. Damit sind vor allem CCU/S-basierte CO₂-Entnahmemethoden wie BECCS und DACCS förderfähig.

Tabelle 6 Auswahl relevanter EU-Förderinstrumente mit CDR-Bezug

EU-Förderprogramm	TRL*	CO ₂ -Entnahmemethoden	Förderquote
Innovation Fund	6–8	Vor allem CCU/S-basierte Methoden	Bis zu 60 %
Connecting Europe Facility – Energy (CEF-E)	8+	Keine, CO ₂ -Infrastruktur	50–70 %
Horizon Europe	1–6	Alle	70–100 %
European Innovation Council (EIC)	1–9	Unter anderem förderaufrufabhängig	70–100 %
LIFE (Programme for Environment and Climate Action)	–	Vorrangig natürliche Senken	60–75 %
EU Breakthrough Energy Catalyst (BEC) partnership	5+	DAC	k.A.

*Einordnung durch Carbon Gap (2025)

Einzelne CO₂-Entnahmemethoden werden unterschiedlich intensiv gefördert

Eine Analyse der F&E-Zuwendungen in Europa verdeutlicht eine Priorisierung natürlicher Senken (Müller-Hansen et al. 2025). Dies ist mutmaßlich auf die technologische Reife sowie die ökologischen Co-Benefits dieser Entnahmemethoden zurückzuführen. Unter den neuartigen Entnahmemethoden erhält Pflanzenkohle die meisten

¹⁵ Zum Beispiel ausstehend: HORIZON-CL5-2027-02-D3-30 (2 x 8 Mio. Euro), HORIZON-CL5-2026-02-D3-24 (3 x 6 Mio. Euro), bereits vergeben: HORIZON-CL5-2024-D3-02-12 (2 x 7 Mio. Euro)

¹⁶ Insbesondere Stockholm Exergi, Danube Removals und AdriaticO₂, alle BECCS

Förderzusagen. Andere neuartige Methoden wie die beschleunigte Verwitterung erhalten hingegen seltener Fördermittel, was auf eine mögliche Innovationslücke auch im Bereich der landbasierten Methoden hindeutet.

In Deutschland zeigt sich ein zweigeteiltes Bild: Während die öffentliche Grundlagenforschung verschiedene neuartige CO₂-Entnahmemethoden relativ gleichmäßig adressiert, mangelt es an einer umfassenderen und CDR-spezifischen Förderung von anwendungsorientierter F&E und Investitionen zur Überführung in den industriellen Markthochlauf. Außerhalb spezifischer Forschungsprogramme profitieren vor allem Verfahren mit Bezug zur Biomassenutzung (CCU, Pflanzenkohle) von indirekten Förderströmen. Die Förderung der Skalierung neuartiger, technischer CO₂-Entnahmemethoden erfolgt derzeit fast ausschließlich über die BIK.

Der Fokus etablierter Förderungen liegt auf der klimafreundlichen Produktion in der Industrie

Die bereits existierenden Förderprogramme, die Maßnahmen zur Emissionsreduktion in der Industrie in Deutschland unterstützen, decken neuartige Entnahmemethoden bisher nicht ausreichend ab. Dies wird im Folgenden anhand einer Skizzierung der Förderbedingungen der zentralen Programme BIK, CO₂-Differenzverträge und EU-Innovationsfonds aufgezeigt.

Die Bundesförderung Industrie und Klimaschutz fördert DAC sowie BECC in der Abfallwirtschaft

Die BIK ist eine Investitionsförderung, die in zwei Modulen Projekte fördert, die zur Dekarbonisierung der Industrie bzw. der Abfallwirtschaft beitragen. In einem wettbewerblich organisierten Verfahren werden Vorhaben ausgewählt, die einen einmaligen, nicht rückzahlbaren Zuschuss erhalten. Förderhöhe und -intensität pro Vorhaben sind begrenzt, wobei dies je nach Modul variiert.

Modul 1 fördert Vorhaben zur Dekarbonisierung der Industrie. Modul 2 fördert Vorhaben zum Einsatz oder zur Entwicklung von CCU/S für schwer vermeidbare Emissionen in der Industrie und der Abfallwirtschaft. Dabei sind gemäß Absatz 6.1 der Förderrichtlinie auch Anlagen förderfähig, „die zur Erzielung von Negativemissionen dienen“ (BMWK 2024). Der zweite BIK-Förderaufruf zum Modul 2 vom 5. Januar 2026 konkretisiert, dass „Anlagen zur Abscheidung von CO₂ aus Umgebungsluft (Direct Air Capture)“ förderfähig sind (BMWE 2026b). Damit steht DACCU/S-Projekten grundsätzlich der Weg offen, sich für die BIK-Förderung zu bewerben. Auch BECCU/S-Projekte in der Abfallwirtschaft sind grundsätzlich förderfähig. Teilmodul 1 des zweiten Moduls richtet sich an Investitionsvorhaben, Teilmodul 2 an Innovationsvorhaben. Bei Investitionsvorhaben ist die maximale Förderhöhe für Infrastruktur- und Speichervorhaben auf 25 Mio. Euro und für alle anderen Vorhaben auf 30 Mio. Euro begrenzt. Die maximale Förderintensität beträgt 30 Prozent der förderfähigen Kosten. Ab einer Förderhöhe von 15 Mio. Euro ist eine 30-prozentige Landeskofinanzierung erforderlich. Für F&E-Vorhaben liegt die maximale Förderhöhe bei industriellen Vorhaben bei 35 Mio. Euro. Voraussetzung ist ein TRL von mindestens 4 (BMWK 2024).

Im Rahmen des ersten Förderaufrufs haben vier CO₂-Entnahmeprojekte¹⁷ eine Zusage für BIK-Förderung erhalten, davon drei DAC-Projekte (BMWE 2025b):

- Das Verbundvorhaben E3CO₂-SUV, das durch ein Konsortium unter Leitung des Münchner Start-ups Phlair in Kooperation mit der Ludwig-Maximilian-Universität und BMW durchgeführt wird, erhält rund 9 Mio. Euro für die Entwicklung und den Bau eines auf Hydrolyse basierenden DAC-Systems.

¹⁷ Außerdem haben zwei Projekte zu technologischen Verfahren der CO₂-Abscheidung an MVA, die Übertragungseffekte für CO₂-Entnahmeanwendungen aufweisen, eine Förderzusage erhalten.

- Das Vorhaben DENI des Berliner Start-ups Ucanéo Biotech erhält rund 4 Mio. Euro für die Errichtung einer ersten Demonstrationsanlage eines elektrochemisch basierten DAC-Systems in Berlin.
- Das Verbundvorhaben ANEWDACUS unter Leitung des Berliner Start-ups NeoCarbon erhält rund 2,5 Mio. Euro für die Entwicklung einer DAC-Anlage auf Basis innovativer Hohlfaserabsorber. Das Projekt ist in Frankfurt-Höchst angesiedelt, einem der bedeutendsten Verbundstandorte der deutschen Chemieindustrie.
- Das Vorhaben BioCCUS der MVV Biogas erhält rund 2 Mio. Euro, um abgeschiedenes CO₂ einer Biogasaufbereitungsanlage mittels beschleunigter Karbonatisierung permanent zu speichern. Der Standort ist Bernburg in Sachsen-Anhalt.

Damit haben Verfahren zur CO₂-Entnahme im Rahmen des ersten BIK-Förderaufrufs Mittel in Höhe von 17,7 Mio. Euro erhalten, was eine wichtige staatliche Unterstützung für die Entwicklung von CCU/S-basierten Entnahmemethoden in Deutschland darstellt.

Die CO₂-Differenzverträge berücksichtigen keine CO₂-Entnahmen

Die CO₂-Differenzverträge (zuvor Klimaschutzverträge) sind ein zentrales Programm für die Dekarbonisierung der Industrie in Deutschland. Im Rahmen des ersten Förderaufrufs wurden 15 Projekte mit einem maximalen Fördervolumen von insgesamt rund 2,8 Mrd. Euro ausgewählt (BMWE 2025a). Die zweite Gebotsrunde läuft derzeit, wobei maximal rund 5 Mrd. Euro an Fördermitteln zur Verfügung stehen.¹⁸ Projekte, die CCU/S einsetzen, sind in dieser zweiten Runde förderfähig. Voraussetzung ist, dass sie im Zusammenhang mit der Produktion industrieller Güter stehen. Daher sind Vorhaben, die allein der Abscheidung und Speicherung von CO₂ an einer thermischen Abfallbehandlungsanlage dienen, nicht förderfähig. Außerdem gelten die aktuellen Bestimmungen der Durchführungsverordnung (EU) 2018/2066, nach denen die THG-Emissionen biogener Energieträger mit dem Emissionsfaktor null zu bewerten sind. Daraus folgt, dass Negativemissionen bei der Berechnung der Treibhausgasemissionsminderung nicht berücksichtigt werden. Die CO₂-Entnahme kann damit ein Nebeneffekt geförderter Projekte sein, sofern biogenes CO₂ abgeschieden und permanent gespeichert wird. Sie wird aber nicht gefördert und es wird auch nicht die Wettbewerbsfähigkeit von CCU/S-Projekten im Gebotsverfahren verbessert.

Die Auswahlkriterien des EU-Innovationsfonds sind nicht dafür ausgelegt, CO₂-Entnahmeprojekte zu fördern

Der EU-Innovationsfonds (EU-IF) wird durch Einnahmen aus dem ETS finanziert. Mit rund 40 Mrd. Euro an Fördermitteln im Zeitraum 2020 bis 2030 ist er eines der weltweit größten Förderprogramme für die Demonstration innovativer kohlenstoffarmer Technologien. Bei der Projektauswahl stehen Innovation, Skalierung, Vorzeigecharakter und das THG-Minderungspotenzial im Mittelpunkt. Damit adressiert der Innovationsfonds das Valley of Death, in dem Technologien oft Schwierigkeiten haben, Finanzierung für Demonstrationsprojekte zu erhalten (Europäischer Rechnungshof 2026).

Um die Fördermittel können sich Projekte aus vier thematischen Richtungen bewerben: 1) innovative kohlenstoffarme Technologien und Verfahren in energieintensiven Industrien; 2) CCU/S; 3) innovative erneuerbare Energieerzeugung; 4) Energiespeichersysteme. Es existiert keine eigene Kategorie für die CO₂-Entnahme, vor allem

¹⁸ Gemäß Beihilfeentscheidung der Europäischen Kommission beträgt das maximale Budget für die zweite Runde der CCfD 5 Mrd. Euro (Europäische Kommission 2025). Die Mittel stammen aus dem Haushaltstitel Dekarbonisierung der Industrie (6092 892 01 – 332), der Teil des Klima- und Transformationsfonds ist. Im Haushaltsplan 2026 sind für diesen Titel rund 7 Mrd. Euro vorgesehen. Der Titel dient auch zur Finanzierung der BIK.

innerhalb der CCU/S-Komponente können jedoch auch Entnahmemethoden gefördert werden.¹⁹ Seit 2024 erhalten Projekte, die Negativemissionen generieren, im Bewertungsprozess einen Zusatzpunkt. Insgesamt zeigt die Förderpraxis eine deutliche Schwerpunktsetzung zugunsten fossil-vermeidender CCU/S-Vorhaben, also der Minderung und nicht der Entnahme (European Scientific Advisory Board on Climate Change 2025).

EU-IF-Ausschreibungen sind regelmäßig stark überzeichnet, sodass geeignete Projekte häufig keine Förderung erhalten. Eine Analyse der Europäischen Kommission und Ramboll Management Consulting (2025b) stellt fest, dass der geringe Anteil an CDR-Projekten innerhalb der europäischen Förderlandschaft nicht auf mangelnde Fördermittel zurückzuführen ist. Entscheidend sei vielmehr, dass die Förderinstrumente CDR nicht konkret genug berücksichtigen. Die weit gefassten Auswahlkriterien führen dazu, dass junge CDR-Unternehmen sich in direktem Wettbewerb mit etablierten Großkonzernen durchsetzen müssen. Laut Europäischem Rechnungshof (SR 11/2026) führt außerdem eine Kombination aus unflexiblen Fristen und zu optimistischen Emissionsberechnungen dazu, dass 20 Prozent der bewilligten Projektfinanzierungen annulliert werden. Für innovative CO₂-Entnahmeprojekte könnten die strikten Vorgaben eine besondere Schwierigkeit darstellen. Besonders technologisch innovative Vorhaben stoßen bei der strikten Einhaltung der zeitlichen Abfolge an ihre Grenzen (Europäischer Rechnungshof 2026).

Auch der Europäische Wissenschaftliche Beirat zum Klimaschutz (engl. European Scientific Advisory Board on Climate Change, ESABCC) weist darauf hin, dass öffentliche Förderprogramme teilweise zu starr sind, um adäquat auf die dynamische CDR-Landschaft zu reagieren (European Scientific Advisory Board on Climate Change 2025). Komplizierte Antragsverfahren und andere bürokratische Hürden können Start-ups und KMU davon abhalten, sich auf Fördermittel zu bewerben (Carbon Gap 2026).

Gezielte Förderung von neuartigen Entnahmeprojekten notwendig

Diese Übersicht bestehender Förderprogramme zeigt, dass neuartige Entnahmemethoden durch etablierte Förderprogramme bisher kaum und vor allem nicht spezifisch gefördert werden, was eine Barriere für den Markthochlauf darstellt. Dies gilt sowohl für die anwendungsorientierte F&E-Förderung von CO₂-Entnahmemethoden mit weiterem Forschungsbedarf als auch für die Förderung von Umsetzungsprojekten zur Skalierung im industriellen Maßstab (mit Blick auf bereits etabliertere Methoden).

Primäres Ziel bestehender Programme ist es in der Regel, fossile Emissionen zu reduzieren, die bei der Produktion industrieller Güter wie Glas oder Aluminium anfallen. Im Gegensatz hierzu stellen bei den meisten neuartigen CO₂-Entnahmemethoden die erzielten Negativemissionen das eigentliche Produkt dar. Auch würden neuartige Entnahmemethoden bei einer Integration in derartige Förderungen mit Emissionsreduktionstechnologien um Fördermittel konkurrieren, obwohl sie derzeit kostenintensiver sind und oftmals geringere technologische Reifegrade aufweisen. Gerade im Wettbewerb mit CCU/S kann diese Fördermittelkonkurrenz bewirken, dass Entnahmeprojekte keine Förderzusagen erhalten.

Ein neues Förderprogramm für Entnahmen kann die Brücke zwischen Forschung und industrieller Marktreife bilden

Innovative Technologien, gerade im Clean-Tech-Bereich, scheitern häufig am Valley of Death: Mit zunehmender technologischer Reife wird die Überführung von Grundlagen in die Praxis wichtiger, während die Verfügbarkeit von

¹⁹ Die Förderung fokussiert sich zwar auf CCU/S-basierte Entnahmemethoden. Darüber hinaus haben jedoch auch Projekte eine EU-IF-Förderung erhalten, die unter anderem Pflanzenkohle produzieren.

Fördermitteln im anwendungsorientierten F&E-Bereich abnimmt. Zugleich sind private Kapitalgeber noch nicht bereit, zu investieren, da sie kein tragfähiges Geschäftsmodell erkennen oder lieber abwarten, bis die Technologie ausgereifter und das Investitionsrisiko geringer ist. Staatliche Förderung ist daher oft entscheidend, um diese Finanzierungslücke für First Mover zu schließen.

Obwohl in Deutschland grundsätzlich entsprechende Förderinstrumente existieren, greifen sie bei neuartigen Entnahmemethoden zu kurz. Spezifische F&E-Förderung für neuartige CO₂-Entnahme ist in Deutschland überwiegend auf die Grundlagenforschung beschränkt. Die anwendungsorientierte F&E wird hingegen ebenso wie die praktische Umsetzung in wirtschaftlich tragfähige Projekte nicht, nicht ausreichend oder nur selektiv gefördert. Damit existiert nicht nur zwischen der Verfügbarkeit von staatlichem und privatem Kapital ein Valley of Death, sondern auch innerhalb des bestehenden Förderregimes.

Ein dediziertes Förderprogramm für neuartige Entnahmen kann diese Lücke schließen. Es schafft Raum für Innovation und CDR-internen Wettbewerb und leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung von Negativemissionen hin zur industriellen Marktreife.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Unterscheidung von CO ₂ -Entnahmемethoden in natürliche und neuartige Senken (eigene Darstellung).....	8
Abbildung 2	(Vor-)verkaufte Zertifikate für neuartige Entnahmen deutscher Unternehmen (Projekte im In- und Ausland) (eigene Darstellung basierend auf Daten von CDR.fyi).....	12
Abbildung 3	Anzahl neuartiger CO ₂ -Entnahmeprojekte in Deutschland nach CO ₂ -Entnahmемethode (eigene Darstellung basierend auf eigenen Erhebungen, Stand: 2026).....	13
Abbildung 4	Prognosen zur Größe des deutschen und globalen Marktes für CO ₂ -Entnahmen im Jahr 2045/2050 (eigene Darstellung).....	19
Abbildung 5	Anzahl deutscher CDR-Unternehmen nach Tätigkeitsbereich (eigene Darstellung basierend auf eigenen Erhebungen).....	20
Abbildung 6	Wirtschaftliches Potenzial nach Methoden und Wertschöpfungsschritt (eigene Darstellung basierend auf BCG und DVNE (2024)).....	22
Abbildung 7	Finanzierungsbedarfe von CDR-Unternehmen nach Entnahmемethode (eigene Darstellung basierend auf CDR.fyi und Planet 2050 (2025)).....	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Gliederung der Wertschöpfungskette neuartiger Entnahmemethoden	21
Tabelle 2	Methodensteckbrief DACCS	28
Tabelle 3	Methodensteckbrief BECCS	29
Tabelle 4	Methodensteckbrief Pflanzenkohle	30
Tabelle 5	Methodensteckbrief Beschleunigte Verwitterung	31
Tabelle 6	Auswahl relevanter EU-Förderinstrumente mit CDR-Bezug	40

Literaturverzeichnis

1PointFive (2026): Ector County DAC – STRATOS. Online verfügbar unter <https://www.1pointfive.com/projects/ector-county-tx>, zuletzt aktualisiert am 21.04.2026, zuletzt geprüft am 21.04.2026.

Allied Offsets (2023): Analysis of Voluntary Carbon Market Stakeholders and Intermediaries. Online verfügbar unter <https://carbonmarketwatch.org/wp-content/uploads/2023/02/Stakeholder-Analysis-for-the-Voluntary-Carbon-Market.pdf>.

AZV Südholstein (2024): Kampf gegen den Klimawandel: Pilotanlage auf Kläranlage. Online verfügbar unter <https://www.azv.sh/aktuelles/pressebereich/18092024-kampf-gegen-den-klimawandel-pilotanlage-auf-kläranlage>, zuletzt aktualisiert am 06.03.2026, zuletzt geprüft am 06.03.2026.

BAK economic intelligence; dena (2025): Investitionsbedarf und Finanzierungsmöglichkeiten von CCS-Technologien in Sonderabfallverbrennungsanlagen. Studie im Auftrag von scienceindustries. Hg. v. scienceindustries. Basel.

BCG; DVNE (2024): Europa und Deutschland als Katalysatoren einer Billionen-Euro-Industrie. Online verfügbar unter <https://negative-emissions.bcg.com/home-de/2024-overview>.

BCG; DVNE (2025): Investitionsbedarf und Unterstützungsmechanismen für die Skalierung von CDR in Deutschland und Europa. Online verfügbar unter https://assets.foleon.com/eu-central-1/de/uploads-7e3kk3/50809/250701_bcgxdvne_cdr_investitionsbedarf_und_untersttzungsmechanis.565b89f4684e.pdf?utm_source=cemicrosite&utm_description=organic&utm_campaign=dvne2024.

BDBE (2026): Bioethanolhersteller. Hg. v. Bundesverband der deutschen Ethanolwirtschaft e.V. Online verfügbar unter <https://www.bdbe.de/bioethanol/hersteller>, zuletzt aktualisiert am 15.04.2026.

BMFTR (2020): Forschungsmission „Marine Kohlenstoffspeicher als Weg zur Dekarbonisierung“ der Deutschen Allianz Meeresforschung. Online verfügbar unter <https://www.fona.de/de/massnahmen/foerdermassnahmen/Dekarbonisierung.php>, zuletzt geprüft am 24.03.2026.

BMFTR (2024): CDRterra: Forschung von Methoden zur CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre – Carbon Dioxide Removal (CDR). Forschung für Nachhaltigkeit. Hg. v. Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt. Online verfügbar unter <https://www.fona.de/de/massnahmen/foerdermassnahmen/co2-entnahmemethoden-cdr.php>, zuletzt geprüft am 24.03.2026.

BMFTR (2025): Hightech Agenda Deutschland. Hg. v. Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt. Online verfügbar unter https://www.bmftr.bund.de/DE/Technologie/HightechAgenda/HightechAgenda_node.html, zuletzt geprüft am 23.03.2026.

BMW (2025a): Projektsteckbriefe Klimaschutzverträge. Online verfügbar unter https://www.klimaschutzvertraege.info/lw_resource/datapool/systemfiles/agent/ewbpublications/16f1fca8-3afa-11f0-88d6-fa163e7d9971/live/document/BMW_A4-Template_Projektsteckbriefe_bf_final.pdf.

BMW (2025b): Übersicht BIK Projekte Förderwettbewerb 2025. Online verfügbar unter https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/B/uebersicht-bik-projekte-foerderwettbewerb-2025.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt geprüft am 23.02.2026.

BMW (2026a): Innovationen im Industriemaßstab: die Reallabore der Energiewende. Online verfügbar unter <https://www.energieforschung.de/fokusthemen/reallabore-der-energiewende>, zuletzt geprüft am 06.03.2026.

BMW (2026b): Bekanntmachung Zweiter Förderaufruf zum Modul 2 (Carbon Management) der Förderrichtlinie für die Bundesförderung für Dekarbonisierung der Industrie und Carbon Management (Förderrichtlinie

- Bundesförderung Industrie und Klimaschutz, BIK). Online verfügbar unter https://www.ptj.de/lw_resource/datapool/systemfiles/cbox/17616/live/lw_bekdoc/banz-at-06.01.2026-b2.pdf.
- BMW (2024): Bekanntmachung der Förderrichtlinie für die Bundesförderung für Dekarbonisierung der Industrie und Carbon Management (Förderrichtlinie Bundesförderung Industrie und Klimaschutz, BIK). Online verfügbar unter <https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/rCvuhldJgZsc8PKz029/content/rCvuhldJgZsc8PKz029/BAnz%20AT%2030.08.2024%20Bl.pdf?inline>, zuletzt geprüft am 29.06.2026.
- Bodirsky, Benjamin Leon; Gavel, Erik; Hartmann, Jens; Havermann, Felix; Kuse, Kolja; May, Matthias et al. (2025): Potenziale und Risiken der landbasierten CO₂-Entnahme in Deutschland: was wir jetzt wissen – und was zu tun ist. Unter Mitarbeit von Karin Adolph, Sina Löschke und Melanie Wolter. Online verfügbar unter https://www.fona.de/medien/pdf/CDR/051225CDRterra-Synthesefactsheet_online.pdf?m=1765276569&, zuletzt geprüft am 29.06.2026.
- BV Kalk (2024): CO₂-Roadmap der Kalkindustrie. Online verfügbar unter <https://www.kalk.de/co2-roadmap>, zuletzt geprüft am 14.04.2026.
- Calma, Justine (2024): The proposed climate fix tech companies just spent millions on? Rocks. Online verfügbar unter <https://www.theverge.com/2024/12/20/24320692/google-tech-terraviva-enhanced-rock-weathering-frontier-carbon-removal-climate>, zuletzt geprüft am 29.06.2026.
- Carbon Direct (2026): State of the Voluntary Carbon Market. Closing the Carbon Dioxide Removal Demand Gap. Online verfügbar unter <https://www.carbon-direct.com/voluntary-carbon-market/2026>, zuletzt geprüft am 07.04.2026.
- Carbon Gap (2025): CDR on the Rise: Horizon Europe fuels EU investment, but net-zero demands more. Online verfügbar unter <https://carbongap.org/cdr-on-the-rise-horizon-europe-fuels-eu-investment-but-net-zero-demands-more/>, zuletzt aktualisiert am 06.03.2026.
- Carbon Gap (Hg.) (2026): Rising to the challenge: Funding CDR research, development & innovation for a net zero competitive EU. Online verfügbar unter <https://carbongap.org/wp-content/uploads/2025/08/c>, zuletzt geprüft am 17.02.2026.
- Carbon Gap; Sweco (2026): Germany's potential to deploy CDR at scale and speed. Background report. Online verfügbar unter <https://carbongap.org/wp-content/uploads/2026/02/Germany-report-0602.pdf>, zuletzt geprüft am 13.05.2026.
- Carbon Herald (2026): Occidental's Stratos DAC Facility Delayed By Unexpected Component Issue. Online verfügbar unter <https://carbonherald.com/occidentals-stratos-dac-facility-delayed-by-unexpected-component-issue/>, zuletzt geprüft am 06.07.2026.
- CDR.fyi (2024a): 2024 Q2 Durable CDR Market Update – Microsoft: Market-Maker. Online verfügbar unter <https://www.cdr.fyi/blog/2024-q2-durable-cdr-market-update-microsoft-market-maker>, zuletzt geprüft am 07.04.2026.
- CDR.fyi (2024b): The Global South Takes the Lead in Biochar Carbon Credits. Online verfügbar unter <https://www.cdr.fyi/blog/global-south-takes-the-lead-in-biochar-carbon-credits>, zuletzt geprüft am 30.06.2026.
- CDR.fyi (2026a): Global Policy Review. Where and When Will Durable CDR Become a Compliance Market? Online verfügbar unter <https://www.cdr.fyi/blog/durable-cdr-global-policy-review-jan-2026>, zuletzt geprüft am 20.04.2026.
- CDR.fyi (2026b): Market Actors. Online verfügbar unter <https://portal.cdr.fyi/market-actors>, zuletzt geprüft am 09.06.2026.
- CDR.fyi; Planet 2050 (2025): The State of Durable CDR Financing 2025 – Survey Report.

- CDRmare (2024): Forschungsergebnisse zur CO₂-Entnahme und -Speicherung im Fokus. Online verfügbar unter <https://cdrmare.de/2024/07/03/cdrmare/forschungsergebnisse-zur-co2-entnahme-im-fokus/>, zuletzt geprüft am 29.06.2026.
- Climeworks (2026a): Projects. Online verfügbar unter <https://climeworks.com/projects>, zuletzt aktualisiert am 20.04.2026, zuletzt geprüft am 21.04.2026.
- Climeworks (2026b): SAP and Climeworks forge an alliance for carbon drawdown. Online verfügbar unter <https://climeworks.com/press-release/sap-and-climeworks-forge-an-alliance-for-carbon-drawdown>, zuletzt geprüft am 08.03.2026.
- DBFZ (2023): Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland. Report zum Anlagenbestand Biogas und Biomethan. Hg. v. Deutsches Biomasseforschungszentrum. Online verfügbar unter https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_50.pdf, zuletzt geprüft am 15.04.2026.
- dena (2026): Biomethan Einspeiseatlas. Online verfügbar unter <https://www.dena.de/biogaspartner/biomethan/einspeiseatlas/>, zuletzt aktualisiert am 15.04.2026.
- Deutsche Bundesbank (2026): Wechselkursstatistik. Online verfügbar unter <https://www.bundesbank.de/resource/blob/808928/93bec936c0073054febb92b4a32dfb67/472B63F073F071307366337C94F8C870/wkld1213-data.pdf>, zuletzt geprüft am 09.06.2026.
- DVNE (2026): Bundesförderung für vier DVNE-Mitglieder. Online verfügbar unter <https://dvne.org/news-de/bundesfoerderung-fuer-vier-dvne-mitglieder/>, zuletzt aktualisiert am 28.01.2026, zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- ECNO (2023): State of EU progress to climate neutrality. Online verfügbar unter https://climateobservatory.eu/sites/default/files/2023-06/ECNO_Flagship%20report%20-%20State%20of%20EU%20progress%20to%20climate%20neutrality_June%202023.pdf?utm_source=chatgpt.com, zuletzt geprüft am 09.03.2026.
- Edenhofer, Ottmar; Kilimann, Cecilia; Leisinger, Christopher; Fuss, Sabine (2024): Let it sink in. New governance and finance structures are needed to scale up carbon dioxide removals. Online verfügbar unter [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Studien-und-Materialien/PDF-Dateien-Paper-and-Proceedings-\(EN\)/COP29_KfW-PIK-CDR.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Studien-und-Materialien/PDF-Dateien-Paper-and-Proceedings-(EN)/COP29_KfW-PIK-CDR.pdf), zuletzt geprüft am 13.07.2026.
- EIB (2025): Groundbreaking carbon capture in Sweden. Online verfügbar unter <https://www.eib.org/en/projects/all/20230660>.
- Erneuerbare Energien (2022): Wandlung von CO₂ in eine stabile Form per Pyrolyse. In: *ERNEUERBARE ENERGIEN*, 13.07.2022. Online verfügbar unter <https://www.erneuerbareenergien.de/energiemarkt/energiemaerkte-weltweit/wandlung-von-co2-eine-stabile-form-pyrolyse>, zuletzt geprüft am 04.06.2026.
- Europäische Kommission (2025): State Aid SA.116065 (2025/N) – Germany „Förderprogramm Klimaschutzverträge“ – Second auction of the Climate Protection Contracts scheme. C(2025) 1707 final.
- Europäische Kommission; Ramboll Management Consulting (2025a): Carbon Removals in the EU. Review of current carbon removal projects and early-stage financing. Online verfügbar unter <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a192ef2f-7f14-11f0-9af8-01aa75ed71a1/language-en>, zuletzt geprüft am 27.02.2026.
- Europäische Kommission; Ramboll Management Consulting (2025b): Funding EU carbon removals. Assessment of existing EU funding programmes and new funding models to increase carbon removal supply. Unter Mitarbeit von Christopher Marton, Nicolas Bert, Jacob Steinmann, Evert Witteveen und Raluca Pieleanu. Luxembourg: Publications Office.

- Europäischer Rechnungshof (Hg.) (2026): Sonderbericht 11/2026: Der Innovationsfonds: Hohes Potenzial, aber langsame Fortschritte und nur geringer Beitrag zur Emissionsminderung. Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union.
- European Scientific Advisory Board on Climate Change (2025): Scaling up carbon dioxide removals. Recommendations for navigating opportunities and risks in the EU.
- EUWID (2023): EEW testet CO₂-Abscheidung bei Müllverbrennung in Hannover. Online verfügbar unter <https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/eew-testet-co2-abscheidung-bei-muellverbrennung-in-hannover-120523/>, zuletzt aktualisiert am 15.05.2023, zuletzt geprüft am 21.04.2026.
- Fajardy, Mathilde; Mac Dowell, Niall (2017): Can BECCS deliver sustainable and resource efficient negative emissions? In: *Energy Environ. Sci.* 10 (6), S. 1389–1426. DOI: 10.1039/C7EE00465F.
- Fraunhofer IEE; DBFZ; ESE (2024): Evaluationsbericht EEG „Stromerzeugung aus Biomasse, Gülle, Biomethan sowie Klär-, Deponie- und Grubengas“. 1. Zwischenbericht (Rev 05). Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Online verfügbar unter https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/E/zwischenbericht-biomkdg-250206.pdf?__blob=publicationFile&v=1, zuletzt geprüft am 15.04.2026.
- Frontier Climate (2025): Offtake agreement template. Online verfügbar unter <https://frontierclimate.com/offtake-agreement-template>, zuletzt geprüft am 07.07.2026.
- Frontier Climate (2026a): Apply for innovation funds. Online verfügbar unter <https://frontierclimate.com/apply/innovation>, zuletzt geprüft am 07.07.2026.
- Frontier Climate (2026b): Our portfolio: Germany. Online verfügbar unter <https://frontierclimate.com/portfolio?location=Germany>, zuletzt aktualisiert am 04.03.2026.
- Frontier Climate (2026c): Source materials supporting Frontier carbon removal purchases. Online verfügbar unter <https://github.com/frontierclimate>, zuletzt geprüft am 05.03.2026.
- GEA (2026): Industriepark Höchst: Carbon Capture-Pilotanlage geht in Betrieb. Online verfügbar unter <https://www.gea.com/de/news/trade-press/2025/carbon-capture-pilot-plant-infraserv-hoechst/>, zuletzt aktualisiert am 21.04.2026, zuletzt geprüft am 21.04.2026.
- Green Energy Innovation (2026): Unsere Standorte. Online verfügbar unter <https://green-energy-innovation.de/standorte>, zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Green.Earth (2025): BMW retires first biochar carbon credits, plans more by 2026. Online verfügbar unter <https://www.green.earth/news/bmw-retires-first-biochar-carbon-credits-plans-more-by-2026>, zuletzt geprüft am 08.03.2026.
- Greenlyte Tech (2025): Government state funding accelerates Greenlyte's mission to scale liquid renewable energy. Online verfügbar unter <https://www.greenlyte.tech/impact-logs/greenlyte-x-produktives-nrw-liquidsolar-methanol>, zuletzt aktualisiert am 22.03.2026, zuletzt geprüft am 27.03.2026.
- IEA (2025): Energy Technology RD&D Budgets. Online verfügbar unter <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/energy-technology-rd-and-d-budget-database-2#overview>.
- Levinger, Hannah; Römer, Daniel (2025): CO₂ einfach aus der Luft saugen? Die ökonomische Dimension von Negativemissionen. Hg. v. KfW Research. KfW. Online verfügbar unter <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Fokus-Volkswirtschaft/Fokus-2025/Fokus-Nr.-503-Juni-2025-CDR.pdf>, zuletzt geprüft am 08.03.2026.
- Lübbers, Sebastian; Lengning, Saskia; Muralter, Fabian; Kulkarni, Purnima; Krob, Florian; Köhler, Andreas R.; Jörß, Wolfram (2026): Techno-ökonomische Analyse von CO₂-Entnahmetechnologien und Bewertung der CO₂-Speicherkapazitäten und -Projekte in Europa. Unter Mitarbeit von Umweltbundesamt und Kirsten op de Hipt.

- Lufthansa Group (2023): Lufthansa Group joins Airbus' carbon-removal initiative. Online verfügbar unter <https://newsroom.lufthansagroup.com/en/lufthansa-group-joins-airbus-carbon-removal-initiative/>, zuletzt geprüft am 08.03.2026.
- McKinsey & Company (2023): Carbon removals: How to scale a new gigaton industry. Online verfügbar unter https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/carbon-removals-how-to-scale-a-new-gigaton-industry#/.
- Müller-Hansen, Finn; Fritz, Livia; Lück, Sarah; Sovacool, Benjamin K.; Minx, Jan C. (2025): Technology, geography and collaboration networks: assessing global innovation and research funding patterns for carbon removal. In: *Environ. Res. Commun.* 7 (095008), S. 1–18. DOI: 10.1088/2515-7620/ae0099.
- MVV Energie AG (Hg.) (2025): Wege zur Skalierung von Negativemissionstechnologien – Empfehlungen für Marktdesign, Infrastruktur und Finanzierung. Mannheim. Online verfügbar unter <https://www.mvv.de/beccus-studie>.
- Naturland (2026): AEROC. Online verfügbar unter <https://www.naturland.de/de/naturland/wer-wir-sind/projekte/aeroc-de.html>, zuletzt geprüft am 21.04.2026.
- Norwegian Industrial Property Officet (2023): Carbon Capture Technology. A patent landscape analysis. Online verfügbar unter <https://www.patentstyret.no/en/media/documents/reports/carbon-capture-technology.pdf>.
- Oliver Wyman (2024): Accelerating carbon dioxide removal. Online verfügbar unter <https://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/europe/uk/unlocking-the-potential-of-carbon-dioxide-removal-3.pdf>, zuletzt geprüft am 19.02.2026.
- Opis; CDR.fyi (2025): Bridging the Gap: Durable CDR Market Pricing Survey. Purchaser and Supplier Expectations in 2025 and 2030. Online verfügbar unter <https://www.cdr.fyi/blog/cdr-pricing-survey-jan-2025>, zuletzt geprüft am 07.04.2026.
- Planeteers (2026): Project OSTREA, 2026, North Germany. Online verfügbar unter <https://planeteers.de/our-projects/northern-germany-%C2%B7-baltic-sea/>, zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Porter, Michael E. (1998): The competitive advantage of nations. 10. [pr.], new ed. with updates in an introduction by the author 1998. London: Macmillan (Macmillan business). Online verfügbar unter http://bvbr.bib-bvb.de:8991/F?func=service&doc_library=BVB01&doc_number=016083382&line_number=0002&func_code=DB_RECORDS&service_type=MEDIA.
- Pour, Nasim; Webley, Paul A.; Cook, Peter J. (2018): Potential for using municipal solid waste as a resource for bioenergy with carbon capture and storage (BECCS). In: *International Journal of Greenhouse Gas Control* 68, S. 1–15. DOI: 10.1016/j.ijggc.2017.11.007.
- Pressestelle des Senats Bremen (2025): Bremen startet CCS-Vorreiterprojekt. Abscheidung von 300.000 Tonnen CO₂ pro Jahr aus unvermeidbarer Abfallverbrennung geplant. Online verfügbar unter <https://www.senatspressestelle.bremen.de/pressemitteilungen/bremen-startet-ccs-vorreiterprojekt-478876>, zuletzt geprüft am 08.03.2026.
- Prognos (2022): Vergleich der „Big 5“ Klimaneutralitätsszenarien. Online verfügbar unter https://ariadneprojekt.de/media/2022/03/2022-03-16-Big5-Szenarienvergleich_final.pdf, zuletzt geprüft am 04.03.2026.
- Prognos; Öko-Institut (2025): Modellierungsgutachten für die Langfriststrategie Negativemissionen. Szenarien für den Hochlauf von natürlichen und technischen negativen Emissionen in Deutschland.
- Puro.earth (2026): Aperam BioEnergia. Online verfügbar unter <https://my.puro.earth/CORC-co2-removal-certificate/supplier-listing/aperam-bioenergia>, zuletzt aktualisiert am 21.04.2026, zuletzt geprüft am 21.04.2026.
- Pyropower GmbH (2026): Pyrolyse Projekte der Pyropower. Online verfügbar unter <https://pyropower.com/pyrolyse-projekte/>, zuletzt geprüft am 06.03.2026.

- Ramos, Yvette; Santos, Filipe Duarte (2025): Are Climate Geoengineering Technologies Being Patented? An Overview. In: *Climate* 13 (4), S. 77. DOI: 10.3390/cli13040077.
- Regreener (2026): The 5 Best Biochar Carbon Credit and Offset Projects of 2026. Online verfügbar unter <https://www.regreener.earth/blog/the-5-best-biochar-carbon-credit-and-offset-projects-of-2026>.
- Ryan, P. C.; Santis, A.; Vanderkloot, E.; Bhatti, M.; Caddle, S.; Ellis, M. et al. (2024): The potential for carbon dioxide removal by enhanced rock weathering in the tropics: An evaluation of Costa Rica. In: *The Science of the total environment* 927, S. 172053. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.172053.
- SBTi (2025): 227% jump in companies setting comprehensive climate targets as corporate climate planning accelerates. Online verfügbar unter <https://sciencebasedtargets.org/news/227-jump-in-companies-setting-comprehensive-climate-targets-as-corporate-climate-planning-accelerates>, zuletzt geprüft am 10.04.2026.
- Schenuit, Felix; Treß, Domenik (2025): Eine „Kurzfriststrategie Negativemissionen“.
- Serin, Esin; Burke, Josh; Feng, Siyu; Read, Maxwell; Kumar, Ram Smaran Suresh (2025): The innovation race on geological carbon removal: who is best to lead? Online verfügbar unter <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/wp-content/uploads/2025/07/Innovation-race-on-geological-carbon-removal-Who-is-best-placed-to-lead.pdf>.
- Sharma, Amit Kumar; Ghodke, Praveen Kumar; Chen, Wei-Hsin (2024): Progress in green adsorbent technologies from sewage sludge for wastewater remediation and carbon capture: A sustainable approach towards clean environment. In: *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* 46, S. 100883. DOI: 10.1016/j.cogsc.2024.100883.
- Smith, Steve; Geden, Oliver; Gidden, Matthew; Lamb, William; Nemet, Gregory; Minx, Jan et al. (2024): The State of Carbon Dioxide Removal – 2nd Edition. Unter Mitarbeit von Center for Open Science.
- Smith, Steve; Geden, Oliver; Nemet, Gregory; Gidden, Matthew; Lamb, William; Powis, Carter et al. (2023): State of Carbon Dioxide Removal – 1st Edition. Unter Mitarbeit von Open Science Framework.
- Stockholm Exergi (2026): Beccs Stockholm – one of the world’s largest facilities, zuletzt aktualisiert am 21.04.2026, zuletzt geprüft am 21.04.2026.
- Strefler, Jessica; Merfort, Anne; Stevanovic, Miodrag (2023): Ariadne–Analyse: Energiewende auf Netto–Null – Passen Angebot und Nachfrage nach CO₂–Entnahme aus der Atmosphäre zusammen? (Kopernikus-Projekt Ariadne).
- Thrän, Daniela; Borchers, Malgorzata; Jordan, Matthias; Lenz, Volker; Markus, Till; Matzner, Nils et al. (2025): The role of BECCS in Germany: a key to sustainable and permanent CO₂ removal? In: *Environ. Res. Commun.* 7 (9), S. 91010.
- UBA (2018): Energieerzeugung aus Abfällen. Stand und Potenziale in Deutschland bis 2030. Unter Mitarbeit von Sabine Flamme, Jörg Hanewinkel, Peter Quicker und Kathrin Weber. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/1410/publikationen/2018-06-26_texte_51-2018_energieerzeugung-abfaelle.pdf, zuletzt geprüft am 10.04.2026.
- UBA (2023): Carbon Capture and Storage. Diskussionsbeitrag zur Integration in die nationalen Klimaschutzstrategien. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/1410/publikationen/230919_uba_pos_ccs_bf.pdf, zuletzt geprüft am 15.04.2026.
- UBA (2026): Emissionsdaten 2025 & Projektionsdaten 2026. Pressehintergrundinformationen. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/system/files/document/UBA%20Emissionsdaten%202025_Projektionsdaten%202026_Hintergrundpapier_2026_03_14.pdf, zuletzt geprüft am 09.06.2026.

VCI (2025): Chemiemärkte weltweit. Länder-Ranking. Online verfügbar unter <https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/2025-ranking-fuer-2024.pdf>, zuletzt geprüft am 23.02.2026.

VDMA (2026): Maschinenbau in Bild & Zahlen. Online verfügbar unter <https://www.vdma.eu/de/maschinenbau-zahl-bild>, zuletzt geprüft am 23.02.2026.

VDZ (2024a): Anforderungen an eine CO₂-Infrastruktur in Deutschland. Voraussetzungen für Klimaneutralität in den Sektoren Zement, Kalk und Abfallverbrennung. Hg. v. Verein Deutscher Zementwerke e.V. Düsseldorf. Online verfügbar unter https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/zementindustrie/VDZ-Studie_CO2-Infrastruktur-Deutschland.pdf, zuletzt geprüft am 14.04.2026.

VDZ (2024b): Zementindustrie im Überblick 2023/2024. Online verfügbar unter https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/zementindustrie/zementindustrie_ueberblick/VDZ_Zementindustrie_im_Ueberblick_2023-2024.pdf.

Wallmann, K.; GEOSTOR (2025): CO₂-Speicherung unter der deutschen Nordsee? Ergebnisse aus drei Jahren Forschung. Online verfügbar unter https://cdrmare.de/wp-content/uploads/2025/05/GEOSTORergebn_ph1_web250521.pdf.

ZeroEx (2025): ZX-24 Vulkaneifel is now officially validated by Isometric. Online verfügbar unter https://www.linkedin.com/posts/zeroex_erw-mrv-sia-activity-7312505485725720577-jJCY/.

Abkürzungen

AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone
BCG	Boston Consulting Group
BECC	Bioenergy with Carbon Capture
BECCS	Bioenergy with Carbon Capture and Storage
BIK	Bundesförderung Industrie und Klimaschutz
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMFTR	Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt
BMHKW	Biomasseheizkraftwerk
BMWE	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CAPEX	Capital Expenditure
CCfD	Carbon Contracts for Difference
CCS	Carbon Capture and Storage
CCU/S	Carbon Capture and Utilization/Storage
CDR	Carbon Dioxide Removal
CRCF	Carbon Removals and Carbon Farming Regulation
DAC	Direct Air Capture
DACCS	Direct Air Carbon Capture and Storage
DACCU/S	Direct Air Carbon Capture and Utilization/Storage
DOCS	Direct Ocean Capture and Storage
DVNE	Deutscher Verband für negative Emissionen
EBS	Ersatzbrennstoffkraftwerk
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
ESABCC	European Scientific Advisory Board on Climate Change
EU-ETS	European Union Emissions Trading System
EU-IF	EU-Innovationsfonds
EW	Enhanced Weathering (beschleunigte Verwitterung)
F&E	Forschung und Entwicklung

FOAK	First-of-a-Kind
IEA	Internationale Energieagentur
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KSG	Klimaschutzgesetz
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LNe	Langfriststrategie Negativemissionen
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry
MRV	Monitoring/Measurement, Reporting and Verification
MVA	Müllverbrennungsanlage
OPEX	Operational Expenditure
PIK	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
SBTi	Science Based Targets initiative
TAB	Thermische Abfallbehandlung
THG	Treibhausgas
TRL	Technology Readiness Level
UBA	Umweltbundesamt
VCM	Voluntary Carbon Market

