



FIT FÜR PARIS

DER CDR-KOMPASS FÜR UNTERNEHMEN

CDR-Technologien verstehen, strategisch bewerten
und in Portfolios für Net Zero übersetzen





Zusammenfassung

Dieser Leitfaden soll Unternehmen als Kompass dienen, um die CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre als notwendige, strategische Ergänzung in ihrem Net-Zero-Transitionsplan zu verankern. Dabei gilt die klare Maxime: Die Reduktion von Emissionen genießt stets oberste Priorität und wird durch CDR ergänzt, aber keinesfalls ersetzt oder verlangsamt. Auf diesem Fundament zeigt der Leitfaden, wie eine verantwortungsvolle CDR-Strategie im Unternehmen entwickelt werden kann, um Net-Zero-Ziele glaubwürdig zu erreichen und so aktiv zur Einhaltung der 1,5-Grad-Grenze beizutragen.

1. CDR verstehen: Relevanz und Potenziale

CDR umfasst anthropogene Verfahren, die CO₂ aktiv aus der Atmosphäre entnehmen und dauerhaft speichern. Für den globalen Klimaschutz ist die CO₂-Entnahme essenziell, um den CO₂-Anstieg in der Atmosphäre kurzfristig abzubremesen, unvermeidbare Residualemissionen mittelfristig zu neutralisieren (Net Zero) und langfristig netto-negative Emissionen zu erreichen, um eine temporäre Überschreitung der 1,5-Grad-Grenze („Overshoot“) zu korrigieren und das globale Temperaturniveau zu stabilisieren. Je nach Verfahren ergeben sich unterschiedliche Potenziale und Risiken, die ökologische sowie soziale Leitplanken für eine verantwortungsvolle Umsetzung erforderlich machen. Unternehmen müssen die Vielfalt der Technologien verstehen, um die für ihre strategischen Ziele geeigneten Technologien und Projekte zu identifizieren.

2. CDR verankern: Strategie und Rollen

Die Bewertung der Technologien ist nicht nur eine technische, sondern auch eine strategische. Unternehmen sollten CDR gezielt in ihren Transitionsplan einbetten. Daher werden strategische Rollen für Unternehmen innerhalb ihrer Net-Zero-Zielsetzung abgeleitet und zentrale Anforderungen an geeignete Technologien definiert. Je nach Ausgestaltung der strategischen Rollen eignen sich bestimmte Verfahren für unterschiedliche Ziele in der unternehmerischen Transitionsplanung. Dabei lassen sich drei zentrale Rollen unterscheiden:

» **Rolle A: Neutralisierung von Residual-emissionen.** Für die Neutralisierung wird CDR im Net-Zero-Zieljahr und in den Jahren danach genutzt, um die dann unvermeidbaren Residual-emissionen physikalisch auszugleichen. Um dies zu

gewährleisten, müssen CDR-Technologien eine hohe Dauerhaftigkeit, geringe Störanfälligkeit und präzise Nachweisbarkeit aufweisen. Diese Anforderungen erfüllen die Technologien: direkte CO₂-Abscheidung aus der Luft mit geologischer Speicherung (DACCS), Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und geologischer Speicherung (BECCS) sowie Bio-Öl aus Pyrolyse mit geologischer Speicherung.

» **Rolle B: Zusätzliche Verantwortung für weiterhin anfallende Emissionen.**

Unternehmen sollten bereits vor Erreichen des Net-Zero-Ziels Verantwortung für ihre noch verbleibenden Emissionen übernehmen. Hierbei können Unternehmen gezielt CDR-Technologien mit wichtigen ökologischen und sozialen Co-Benefits unterstützen sowie die Entwicklung von Technologien mit geringerem Reifegrad fördern. Um die Co-Benefits gezielt zu fördern, eignen sich die naturbasierten Verfahren Kohlenstoffspeicherung in Böden, Agroforstsysteme, (Wieder-)Aufforstung, Waldmanagement, Wiedervernässung von Feuchtgebieten und Mooren sowie die Wiederherstellung küstennaher Ökosysteme (Blue Carbon). Für die Entwicklungsförderung eignen sich die für die Neutralisierung erforderlichen, heute aber noch nicht marktreifen Technologien: DACCS, BECCS und Bio-Öl aus Pyrolyse mit geologischer Speicherung.

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58



Zusammenfassung

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

» Rolle C: FLAG-Zielerreichung im Landsektor.

Diese Rolle adressiert die gezielte Verknüpfung von Entnahme und Reduktion innerhalb der eigenen land- oder forstwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten. Entscheidende Merkmale sind dafür ein bereits heute hoher Reifegrad sowie eine kontinuierliche Nachweisbarkeit. Zudem beschränkt sich der Einsatz auf die folgenden naturbasierten Technologien, die sich direkt in die landbasierte Wertschöpfung integrieren lassen: Kohlenstoffspeicherung in Böden, Agroforstsysteme, Wiederaufforstung, Waldmanagement, Wiedervernässung von Feuchtgebieten und Mooren, Wiederherstellung küstennaher Ökosysteme (Blue Carbon) sowie Pflanzenkohle aus Pyrolyse.

Entscheidend für die strategische Integrität ist dabei die klare Abgrenzung: Die nachträgliche Kompensation verfehlter Reduktionsziele stellt keinen strategischen Anwendungsfall für CDR dar.

3. CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit

Die operative Umsetzung erfordert den Übergang zu einem gesteuerten Portfolio. Ein wirksames Portfolio kombiniert dabei unterschiedliche CDR-Technologien, um Risiken wie mangelnde Dauerhaftigkeit, fehlende Verfügbarkeit oder hohe Kosten systematisch auszugleichen und diese auf die strategischen Rollen abzustimmen. Die Auswahl der Finanzierungsinstrumente orientiert sich hierbei an der Marktreife und der Umsetzungsnähe und reicht vom Kauf standardisierter Zertifikate bis hin zu langfristigen Abnahmeverträgen oder direkten Projektpartnerschaften. Eine robuste Qualitätssicherung ist zudem die Grundvoraussetzung, um durch strikte Kriterien die Integrität zu wahren und einen wirkungsvollen und nachhaltigen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Das erfolgreiche Management ist dabei stets ein dynamischer Prozess, der das Portfolio regelmäßig an regulatorische Anforderungen und die technologische Marktentwicklung anpasst.

Ausblick

CDR entwickelt sich zu einem neuen strategischen Handlungsfeld für Unternehmen. Unternehmen, die heute beginnen, entsprechende Kapazitäten und Kompetenzen strategisch aufzubauen, sichern ihre künftige Handlungsfähigkeit und leisten einen wichtigen Beitrag zum globalen Klimaschutz. Dabei sind drei Erfolgsfaktoren entscheidend: ausreichende Kapazitäten, die Geschwindigkeit der Umsetzung und eine hohe Integrität.



Executive Summary

This guideline serves as a compass for companies to anchor CDR as a necessary, strategic complement within their Net Zero transformation. The guiding principle remains clear: The reduction of emissions always takes top priority. It is supplemented by CDR, but never replaced or delayed. Based on this foundation, the guideline demonstrates how to develop a responsible CDR strategy to achieve Net Zero targets with credibility and contribute actively to limiting global warming to 1.5 °C.

1. Understanding CDR: Relevance and Potential

CDR encompasses human-made technologies that actively remove CO₂ from the atmosphere and store it permanently. On a global scale, CDR is essential to slow down the rise of atmospheric CO₂ in the short term, to neutralize unavoidable residual emissions in the medium term (Net Zero), and to enable net-negative emissions in the long term to correct a temporary overshoot of the 1.5 °C limit and stabilize global temperatures. Available methods differ regarding their potentials and risks, requiring ecological and social safeguards to guide their sustainable implementation. Companies must understand the diversity of these technologies to identify those suitable for their strategic goals.

2. Embedding CDR: Strategy and Roles

The evaluation of CDR technologies is not just a technical matter but a strategic one. Companies should strategically embed CDR into their transition plans. Therefore, this guideline defines three strategic roles for companies and describes key requirements for suitable technologies:

» Role A: Neutralization of residual emissions.

CDR is used in the Net Zero target year and in subsequent years to balance unavoidable residual emissions. To ensure permanent physical neutralization, technologies must offer high durability, low reversal risk and precise measurability. These requirements are currently met by: direct air carbon capture and storage (DACCS), bioenergy with carbon capture and storage (BECCS), and bio-oil from pyrolysis with geological storage.

» Role B: Additional responsibility for ongoing emissions.

Companies should take responsibility for ongoing emissions before reaching Net Zero. This involves promoting technologies with significant socio-ecological co-benefits, including soil carbon sequestration, agroforestry, (re-)afforestation, forest management, rewetting of wetlands and peatlands, and the restoration of coastal ecosystems (Blue Carbon). Additionally, companies can support the development of low-maturity technologies needed for neutralization in the future, which is DACCS, BECCS and bio-oil from pyrolysis with geological storage.

» Role C: FLAG target achievement in the land sector.

This role addresses the targeted linking of removals and reductions within a company's own agricultural or forestry value chains. Key factors for suitable technologies are a high level of maturity and continuous monitoring. This is limited to technologies closely linked to value creation in the land sector, such as soil carbon sequestration, agroforestry, reforestation, forest management, rewetting of peatlands, the restoration of coastal ecosystems (Blue Carbon), and biochar from pyrolysis.

Crucial for integrity is a clear distinction: The retrospective compensation of missed reduction targets does not constitute a strategic use case for CDR.

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transformationsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58



WWF

Executive Summary

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

3. Implementing CDR: Portfolio and Effectiveness

Operational implementation requires moving to a managed portfolio. An effective portfolio combines different technologies to systematically balance risks, such as lack of durability, limited availability, or high costs, and aligns them with strategic corporate roles. Available financial instruments range from purchasing standardized carbon credits to long-term offtake agreements or direct project partnerships. Crucially, robust quality assurance is a prerequisite for maintaining integrity and to deliver an impactful, sustainable contribution to climate goals. Ultimately, success depends on a dynamic management process that regularly adjusts the portfolio to evolving regulatory requirements and market developments.

Outlook

CDR is evolving into a new strategic field of action. Companies that begin building systematic capacities and expertise today secure their future ability to act and make a vital contribution to global climate action. For a successful implementation three success factors are decisive: sufficient capacity, speed of implementation, and a high level of integrity.



1 Einleitung

Die Begrenzung der globalen Erwärmung auf möglichst 1,5 Grad ist das zentrale Ziel des Pariser Klimaabkommens.¹ Nur so lassen sich die gravierendsten Folgen der Klimakrise eindämmen. Wissenschaftliche Erkenntnisse zeigen, dass eine dauerhafte Überschreitung der 1,5 Grad die Anpassungsfähigkeit natürlicher und gesellschaftlicher Systeme deutlich überfordern würde.² Die 1,5-Grad-Grenze bildet daher trotz der zunehmenden Herausforderungen bei der unmittelbaren Einhaltung den entscheidenden Orientierungsrahmen für globale Klimaschutz- und Transformationsstrategien (→ [Box 1](#)).

Um dieses Ziel zu erreichen, ist der Übergang zu Net Zero bis spätestens 2050 erforderlich.³ Dafür müssen weltweite Treibhausgasemissionen durch tiefgreifende Reduktion auf ein Minimum begrenzt und verbleibende, unvermeidbare Restemissionen durch gezielte CO₂-Entnahme (Carbon Dioxide Removal, CDR) aus der Atmosphäre ausgeglichen werden. Während Emissionsreduktionen weiterhin den größten und wichtigsten Beitrag leisten, wird CDR als zweite Säule für die Neutralisierung dieser Residualemissionen unverzichtbar. Der heutige Aufbau von CDR-Kapazitäten beeinflusst dabei maßgeblich, ob künftig wirksame Instrumente zur Stabilisierung des Klimas in ausreichendem Umfang zur Verfügung stehen.

Unternehmen kommt dabei eine wichtige Rolle als Innovationstreiber und Kapitalgeber zu. Privates Kapital kann einen zentralen Beitrag zum erforderlichen Kapazitätsaufbau und zur Schließung der globalen Finanzierungslücke leisten. Zudem tragen Unternehmen nach dem Verursacherprinzip Verantwortung für den Ausstoß ihrer Emissionen. Diese Verantwortung übersetzt sich direkt in klare Anforderungen: Immer mehr Unternehmen verpflichten sich zu Net-Zero-Zielen entlang wissenschaftsbasierter Reduktionspfade. Corporate Net-Zero Standards wie die der Science Based Targets initiative oder der International Organization for Standardization (ISO) übersetzen diese wissenschaftlichen Anforderungen in eine Zielarchitektur. Diese Architektur zeigt auf, wo strukturelle Grenzen der Reduktion liegen – und wo CDR bereits heute Teil der Transitionsplanung wird. Unternehmen, die sich frühzeitig damit befassen, schaffen die Voraussetzungen für eine zielgerichtete und verantwortungsvolle CDR-Integration in ihre Klimastrategie – wissenschaftsbasiert und im Einklang mit Natur und Gesellschaft.

Dieser Leitfaden soll Unternehmen dabei unterstützen, dieses Feld systematisch zu erschließen. Zunächst werden das Konzept und die technologischen Grundlagen von CDR erläutert (→ [Kapitel 2](#)), bevor klimastrategische Rollen für CDR in der unternehmerischen Net-Zero-Transitionsplanung definiert werden

(→ [Kapitel 3](#)). Abschließend zeigt der Leitfaden auf, wie Unternehmen ein wirksames CDR-Portfolio finanzieren und umsetzen, um die CO₂-Entnahme frühzeitig zu skalieren, ohne die eigene Emissionsreduktion zu untergraben (→ [Kapitel 4](#)).

Box 1: Warum 1,5 °C als Grenzwert relevant bleiben

Dass die globale Temperatur in einzelnen Jahren bereits über 1,5 °C liegen kann, bedeutet noch kein Scheitern des Pariser Abkommens, da sich das Ziel auf ein langfristiges Temperaturniveau bis zum Ende des Jahrhunderts bezieht. Wissenschaftliche Szenarien machen jedoch deutlich: Da die bisherige globale Emissionsreduktion nicht ausreicht, wird ein temporäres Überschreiten dieser Grenze (Overshoot) mit anschließend notwendiger Temperaturabsenkung immer wahrscheinlicher. Solche Pfade sind hochriskant: Sie erfordern sehr ambitionierte spätere Emissionsreduktionen sowie einen massiven, in diesem Umfang noch ungewissen Einsatz von CDR.⁴ Zudem steigt die Gefahr, klimasystemische Kippunkte irreversibel zu überschreiten.

Die Anerkennung dieser Risiken unterstreicht die Bedeutung der 1,5 °C-Grenze: Jedes Zehntelgrad zusätzlicher Erwärmung erhöht die Gefahr irreversibler Schäden massiv. Der Grenzwert bleibt daher der unverzichtbare Ankerpunkt für ambitionierten Klimaschutz.

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58



2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale

2.1 Was ist CDR (nicht)?

Laut IPCC umfasst CDR anthropogene Aktivitäten, die CO₂ aus der Atmosphäre entnehmen und dauerhaft in geologischen, terrestrischen oder ozeanischen Reservoiren oder in langlebigen Produkten speichern.⁵ Damit bildet CDR das komplementäre Gegenstück zu CO₂-Emissionen: Statt CO₂ in die Atmosphäre freizusetzen, wird es aktiv aus ihr entnommen und über lange Zeiträume gebunden (→ [Box 2](#)). Drei zentrale Aspekte definieren, was als CDR gilt:

1. Das CO₂ muss aus der Atmosphäre stammen.

Entscheidend ist, dass durch CDR jene Emissionen entnommen werden, die bereits in die Atmosphäre gelangt sind. Dazu zählt auch CO₂ aus Biomasse, da das gebundene CO₂ auch hier atmosphärischen Ursprungs ist. Nicht dazu zählt die Abscheidung von CO₂ direkt an industriellen Prozessen, da hier die CO₂-Quelle in fossilen Energieträgern gebundener Kohlenstoff ist.

2. Die Speicherung muss dauerhaft sein.

Damit CDR wirksam ist, darf das gebundene CO₂ nicht nach kurzer Zeit wieder zurück in die Atmosphäre entweichen. Methoden, bei denen das CO₂ innerhalb weniger Monate oder Jahre zurück in die Atmosphäre gelangt, erfüllen diese Bedingung nicht.

3. Die Entnahme muss durch anthropogene Aktivitäten erfolgen.

CDR umfasst neue technische Verfahren sowie gezielte menschliche Eingriffe zur Ausweitung oder Wiederherstellung natürlicher Kohlenstoffspeicher, zum Beispiel durch das Aufforsten neuer Wälder oder die Wiedervernässung trockengelegter Moore. Die rein natürliche Entnahme durch bestehende Ökosysteme (z. B. durch Primärwälder oder die natürliche CO₂-Entnahme des Ozeans) zählt definitorisch nicht zu CDR, ihr Erhalt und aktiver Schutz vor Landnutzungsänderungen oder Klimaschäden ist aber zwingend erforderlich. Gesunde, resiliente Ökosysteme sind das Fundament für ein stabiles Klimagleichgewicht und bieten essenzielle Synergien für die Biodiversität und lokale Gemeinschaften.^{6,7}

Box 2: Warum der Fokus auf CO₂?

Andere Treibhausgase wie Methan oder Lachgas sollten ebenfalls aus der Atmosphäre entnommen werden; diese Verfahren sind jedoch wenig erforscht und bislang technisch u. a. aufgrund der deutlich geringeren Konzentration in der Atmosphäre kaum umsetzbar. Da CO₂ aufgrund seiner enormen Menge und langen Verweildauer in der Atmosphäre den größten Beitrag zur menschengemachten Klimakrise leistet, konzentrieren sich Net-Zero-Ziele primär auf dessen Entnahme.⁸ Weitere Treibhausgase werden üblicherweise durch CO₂-Äquivalente (CO₂e) bilanziell neutralisiert.

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

2.1 Was ist CDR (nicht)?

CDR ist zudem nicht gleichzusetzen mit Ansätzen zur Emissionsreduktion wie Carbon Capture and Storage (CCS) oder Carbon Capture and Utilization (CCU). Alle drei Ansätze arbeiten mit teils ähnlichen Technologien, verfolgen aber unterschiedliche Ziele und sind für Unternehmen daher voneinander abzugrenzen (→ [Abbildung 1](#)).

» **CCS** bezeichnet die direkte Abscheidung von CO₂ an industriellen fossilen Emissionsquellen – nicht aus der Atmosphäre – und dessen anschließende langfristige Speicherung, in der Regel in geologischen Formationen. Ziel ist die Reduktion von Emissionen aus Industrieprozessen.⁹ CCS trägt nur dann als geologische Speichertechnologie zu CDR bei, wenn das abgeschiedene CO₂ nicht aus fossilen Quellen, sondern aus der Atmosphäre stammt (z. B. bei BECCS oder DACCS, → [Kapitel 2.3](#)).

» **CCU** dagegen beschreibt Verfahren, bei denen das – meist aus fossilen Emissionsquellen – abgeschiedene CO₂ nicht in geologischen Formationen gespeichert, sondern als kurzlebiger Rohstoff genutzt wird. Ziel ist die stoffliche Verwertung und Wertschöpfung aus CO₂, z. B. für synthetische Kraftstoffe oder Kunststoffe. Aufgrund der typischerweise kurzen Lebenszyklen werden diese nicht als CO₂-Entnahme betrachtet.

	CDR CARBON DIOXIDE REMOVAL	CCS CARBON CAPTURE AND STORAGE	CCU CARBON CAPTURE AND UTILIZATION
Kohlenstoffquelle	Atmosphärisch	Fossil	Atmosphärisch oder Fossil
Entnahmeprozess	Anthropogen	Anthropogen	Anthropogen
Kohlenstoffspeicher	Dauerhaft	Dauerhaft	Nicht dauerhaft

Abbildung 1: Abgrenzung CDR, CCS und CCU

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58



2.2 Warum braucht es CDR?

Ohne CO₂-Entnahme ist das Einhalten der 1,5-Grad-Grenze global nicht erreichbar. Der IPCC-Sachstandsbericht AR6 zeigt, dass globale CO₂-Emissionen bis etwa 2050 Netto-Null erreichen und anschließend netto-negativ werden müssen, während andere Treibhausgase bis rund 2070 auf Netto-Null sinken sollten.¹⁰

Selbst bei maximaler Emissionsreduktion verbleibt ein unvermeidbarer Rest an Emissionen, die sogenannten Residualemissionen. Diese entstehen dort, wo eine vollständige Vermeidung technisch – etwa bei industriellen Prozessemissionen oder in Teilen der Landwirtschaft – oder unter Berücksichtigung von sozialen Aspekten nicht möglich ist. Ihr Niveau ist dynamisch und sollte aus wissenschaftsbasierten Reduktionspfaden abgeleitet und regelmäßig überprüft werden. CDR ist erforderlich, um diese Residualemissionen dauerhaft aus der Atmosphäre zu entnehmen und so Net Zero tatsächlich zu erreichen.

In allen mit dem Pariser Abkommen kompatiblen IPCC-Szenarien ist CDR daher ein notwendiger Bestandteil globaler Klimastrategien – und erfüllt darin drei zentrale Funktionen:

Kurzfristig: Temporäre Abschwächung des CO₂-Anstiegs

Kurzfristig kann CDR, insbesondere durch naturbasierte Maßnahmen, dazu beitragen, den Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre temporär abzuflachen, und so helfen, kritische Temperaturspitzen abzumildern und das Risiko des Überschreitens von Klima-Kipppunkten zu reduzieren.

Mittelfristig: Neutralisierung von Residualemissionen

Mittelfristig ist CDR erforderlich, um unvermeidbare Residualemissionen dauerhaft auszugleichen. Nur durch die gezielte Entnahme entsprechender CO₂-Mengen kann global Net Zero tatsächlich erreicht und der Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre gestoppt werden.

Langfristig: Netto-negative Emissionen ermöglichen

Langfristig kann CDR den Übergang zu netto-negativen Emissionen ermöglichen, um einen temporären Overshoot der 1,5-Grad-Grenze zu korrigieren und durch eine Senkung der atmosphärischen CO₂-Konzentration das globale Temperaturniveau langfristig wieder zu stabilisieren.¹¹

In nachhaltigkeitsorientierten 1,5-Grad-Szenarien¹² ist dafür eine deutliche Skalierung der aktuellen, globalen Entnahmemengen bis 2050 erforderlich. Wie hoch der Bedarf an Entnahmen tatsächlich ausfällt, hängt maßgeblich von der Ambition heutiger Emissions-

reduktionen ab. Derzeit werden weltweit rund 2,1 Gigatonnen CO₂ pro Jahr entnommen, davon über 99 Prozent durch naturbasierte Methoden (zum größten Teil durch Aufforstung). In Szenarien, die zur Erreichung breiter Nachhaltigkeitsziele beitragen, wird der globale CDR-Bedarf im Jahr 2050 jedoch auf sieben bis neun Gigatonnen CO₂ pro Jahr geschätzt, in besonders ambitionierten nachhaltigen Szenarien mit schneller und tiefgreifender Reduktion auf etwa vier Gigatonnen CO₂ pro Jahr.¹³

CDR ist eine notwendige Ergänzung, ersetzt jedoch keinesfalls die schnelle und tiefgreifende Emissionsreduktion. Die Lücke zwischen heutigen CO₂-Entnahmemengen und dem künftig benötigten Niveau macht deutlich, dass ein erheblicher, aber herausfordernder Ausbau von CDR erforderlich ist. Gleichzeitig ist die Verfügbarkeit von CDR auf lange Sicht unsicher und begrenzt und der Ausbau mit erheblichen Ressourcenbedarfen und Nachhaltigkeitsrisiken verbunden. Es ist daher ein riskanter Ansatz, sich auf die großflächige CO₂-Entnahme zu verlassen. Emissionen müssen daher konsequent und so weit wie möglich reduziert werden, um den Bedarf und die langfristige Abhängigkeit von CDR so gering wie möglich zu halten. Die Emissionsreduktion bleibt demzufolge die wirksamste und sicherste Klimaschutzstrategie und die Entnahme von CO₂ darf nicht als Vorwand dienen, um notwendige Emissionsreduktionen zu verzögern oder zu ersetzen.¹⁴

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58



2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?

CDR dient als Sammelbegriff für ein breites und dynamisches Spektrum an Technologien, das sich durch neue wissenschaftliche Erkenntnisse und technologische Erprobungen stetig weiterentwickelt. Da die Grenzen zwischen den einzelnen Verfahren oft fließend sind, hat sich eine Klassifizierung entlang zentraler Merkmale etabliert:

» Geografischer Kontext:

Hier wird nach dem Ort der Umsetzung unterschieden – während die meisten Methoden an Land zum Einsatz kommen, stellen marine Ansätze im Ozean oder in Küstenregionen ein wachsendes Forschungsfeld dar.

» Reifegrad:

Die Wissenschaft differenziert zwischen konventionellen, naturbasierten Verfahren, die bereits marktreif sind (engl. „conventional CDR“), und neuen, primär technisch-orientierten Ansätzen, die sich noch in früheren Entwicklungsstadien befinden (engl. „novel CDR“).¹⁵

Jenseits der groben Klassifikation lassen sich CDR-Technologien durch weitere Merkmale präzise charakterisieren. Zu diesen Merkmalen gehören u. a. die Höhe ihres Entnahmepotenzials ebenso wie ihr Infrastrukturbedarf oder die Dauerhaftigkeit der CO₂-Speicherung (→ [Box 3](#)). [Abbildung 2](#) stellt die zentralen Merkmale der gängigsten CDR-Technologien heraus, abgeleitet aus dem Review anerkannter wissenschaftlicher Quellen (→ [Box 3](#) und → [Anhang C](#)). Damit Unternehmen fundierte Entscheidungen über den Einsatz bestimmter CDR-Technologien treffen können, müssen sie diese in ihren spezifischen Eigenschaften verstehen. Nur so werden ihr Potenzial, ihre Grenzen, ihre Vor- und Nachteile deutlich und lassen sich wirksame CDR-Portfolios gestalten.

Box 3: Wie wurden die CDR-Technologien charakterisiert?

→ [Anhang A](#) bietet eine vollständige Übersicht über die Definitionen der genutzten Merkmale und die genutzten Benchmarks für die Skalierung.

→ [Anhang B](#) enthält eine detaillierte Beschreibung und Charakterisierung der in diesem Leitfaden betrachteten Technologien und liefert die Hintergrundinformationen zur Einordnung in → [Abbildung 2](#). Diese Darstellung spiegelt den aktuellen Stand der Forschung wider. Sie dient als vorläufige Orientierung in einem technologisch, wissenschaftlich und politisch hochdynamischen Umfeld; zukünftige Analysen können daher zu abweichenden Einschätzungen gelangen.

→ [Anhang C](#) gibt einen Überblick über die wissenschaftlichen Rahmenwerke, die der Charakterisierung der Technologien zugrunde liegen.

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Abbildung 2: Charakterisierung der CDR-Technologien

TECHNOLOGIEN	Entnahme-potenzial*	Reduktions-potenzial	Dauer-haftigkeit	Stör-anfälligkeit	Nachweis-barkeit (MRV)	Ökologische Co-Benefits	Soziale Co-Benefits	Reifegrad	Kosten pro Tonne	Ressourcen-bedarf	Infrastruktur-bedarf	Regulatori-sche Hürden
Kohlenstoffspeicherung in Böden	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
Agroforstsysteme	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
(Wieder-)Aufforstung	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
Waldmanagement	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
Langlebige Holzprodukte	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
Wiedervernässung von Mooren	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
Wiederherstellung küstennaher Ökosysteme	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
Pflanzenkohle aus Pyrolyse	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
Bio-Öl aus Pyrolyse mit geolog. Speicherung	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
BECCS	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
DACCS	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
Beschleunigte Gesteinsverwitterung	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
Kohlenstoffbasierte Baustoffe	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
Künstliche Photosynthese	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
Vergrabung von Biomasse an Land	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
Versenkung von Biomasse im Meer	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
Kultivierung von Makroalgen	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
DOCCS	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
Alkalinitätserhöhung im Ozean	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
Ozeandüngung	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
Künstlicher Auftrieb	High	High	High	Low	High	High	High	High	High	High	High	High

Legende Technologien: ■ Naturbasiert/konventionell ■ Technisch/neuartig Landbasiert Ozeanbasiert Bewertungskategorien: Gering Moderat Hoch K. A. K.-o.-Kriterium

* Unter Berücksichtigung von ökologischen und sozialen Schutzmaßnahmen (s. Kapitel 2.4) kann das tatsächliche Potenzial der CDR-Technologien erheblich geringer sein.

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58



2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?

Die Charakterisierung der Technologien (→ [Abbildung 2](#)) zeigt deutlich: Es gibt keine Universallösung für die CO₂-Entnahme, da jede Technologie begrenzte Skalierungspotenziale, Zielkonflikte und Risiken aufweist, etwa in Bezug auf Ressourcenbedarf, Dauerhaftigkeit oder ökologische Co-Benefits. Daher ist ein breites Portfolio an Ansätzen vielversprechender.

Nach heutigem Kenntnisstand gibt es dennoch einige CDR-Technologien, von deren Finanzierung Unternehmen derzeit Abstand nehmen sollten. Für die folgenden Ansätze ist aus WWF-Perspektive eine unternehmerische Förderung zum jetzigen Zeitpunkt auszuschließen:

» **Beschleunigte Gesteinsverwitterung, Kohlenstoffbasierte Baustoffe, Vergrabung von Biomasse an Land bzw. Versenkung im Ozean, Künstliche Photosynthese, Kultivierung von Makroalgen sowie die direkte CO₂-Abscheidung aus dem Ozean mit geologischer Speicherung (DOCCS):** Für diese Technologien liegen aktuell keine ausreichend belastbaren, wissenschaftlichen Erkenntnisse vor. Eine fundierte Bewertung ihrer Potenziale und Risiken ist – dem Vorsorgeprinzip folgend – derzeit noch nicht möglich.

» **Alkalinitätserhöhung im Ozean, Ozeandüngung sowie Künstlicher Auftrieb:** Bei diesen ozeanbasierten Ansätzen steht die Forschung noch am Anfang. Dies liegt vor allem daran, dass die potenziellen und teils unkontrollierbaren Risiken für marine Ökosysteme die Vorteile einer CO₂-Entnahme bislang überwiegen, weshalb auch rechtliche Hürden und die Sorge hinsichtlich irreversibler ökologischer Schäden großflächige Feldversuche verhindern.

» **Langlebige Holzprodukte:** Aufgrund von systemischen Zielkonflikten der Biomasse-Nutzung wird diese Technologie zur CO₂-Entnahme abgelehnt, um den Nutzungsdruck auf das Ökosystem Wald durch zusätzliche Anreize für die Nachfrage nach Primärholz nicht zu erhöhen. Es gilt zudem in Europa derzeit als unwahrscheinlich, dass die Vorteile der Materialsubstitution (z. B. Holz statt Beton) die Schwächung der natürlichen Waldsenke durch intensivere Ernten kompensieren können.¹⁶

Um die Risiken der CDR-Technologien zu minimieren, muss der Einsatz zwingend an strenge ökologische und soziale Schutzmaßnahmen gebunden sein. Eine sorgfältige Prüfung der regionalen Kontexte nach dem Vorsorgeprinzip (z. B. durch Umweltverträglichkeitsprüfungen) ist daher vor der Implementierung unerlässlich (→ [Kapitel 4.4](#)).

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58



2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?

Für den Einsatz einiger CDR-Technologien gelten zudem spezifische Leitplanken:

» Energiebasierte Verfahren

(v. a. DACCS):

Technologien mit erheblichem Energie-Aufwand sind nur dann als CDR-Maßnahme zu fördern, wenn sie nachweislich mit zusätzlicher erneuerbarer Wind- und Solarenergie betrieben werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass die Dekarbonisierung des Stromnetzes und die Elektrifizierung von Industrie und Verkehr nicht verlangsamt werden.

» Biomassebasierte Verfahren

(v. a. BECCS, Bio-Öl und Pflanzenkohle):

Um den Druck auf Landflächen und bestehende natürliche Ökosysteme zu minimieren, darf ausschließlich Biomasse nach einer vollständigen Kaskadennutzung als kurzlebige Abfall- und Reststoffe ohne alternative Nutzungskonkurrenz verwendet werden. Dabei ist sicherzustellen, dass das abgeschiedene CO₂ als Nebenprodukt bestehender Prozesse anfällt und nicht gezielt zum alleinigen Zweck der Speicherung erzeugt wird.

» Infrastrukturbedarf

(v. a. DACCS, BECCS und Bio-Öl):

An Land und im Meer braucht es umfangreiche Schutzmaßnahmen, die einen naturverträglichen Auf- und Ausbau der Infrastrukturen sicherstellen. Dies betrifft vor allem die Transport- und Speicherinfrastrukturen für CCS.¹⁷

» Ökosystembasierte Ansätze

(v. a. Wiedervernässung von Feuchtgebieten und Mooren, (Wieder-)Aufforstung, Waldmanagement, Agroforstsysteme und die Wiederherstellung küstennaher Ökosysteme):

Bei der Förderung naturbasierter Verfahren sollten der Erhalt und die Wiederherstellung standorttypischer Ökosysteme Vorrang vor der rein rechnerischen CO₂-Entnahmemenge haben. Finanzielle Anreize sollten daher ökologische Integrität und den langfristigen Nutzen für Mensch und Biodiversität berücksichtigen, um die Resilienz des Ökosystems zu steigern. Maßnahmen, die kurzfristig CO₂ binden, aber im Gegenzug lokale Ökosysteme bedrohen oder umwandeln – z. B. die Aufforstung von Grasland oder Savannen – oder Menschenrechte gefährden, sind nicht als CDR-Maßnahme zu fördern.¹⁸

Jenseits der grundsätzlichen Orientierung und des Ausschlusses einzelner Methoden sind Unternehmen gefordert, sich gezielt mit den einzelnen CDR-Technologien und ihrer spezifischen Eignung für verschiedene Rollen innerhalb der eigenen Klimastrategie auseinanderzusetzen. Ziel der nachfolgenden Kapitel ist es daher, Unternehmen bei der Auswahl passgenauer Lösungen für ihre jeweilige strategische Ausrichtung (→ Kapitel 3) sowie bei der Definition notwendiger Rahmenbedingungen für ihr Portfolio (→ Kapitel 4) zu unterstützen.

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58



3 CDR verankern: Strategie und Rollen

3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?

Die strategische Rolle von CDR für Unternehmen ergibt sich nicht aus der Technologie selbst, sondern aus ihrem konkreten Beitrag zu unterschiedlichen strategischen Zielen. Während in Kapitel 2 beschrieben wurde, was CDR ist und welche Technologien existieren, entscheidet sich die praktische Bedeutung erst in der Frage, wofür CDR im Unternehmenskontext eingesetzt werden soll. Denn je nach Zielsetzung unterscheiden sich die Anforderungen an die Technologien erheblich. Die Rollen ergeben sich aus wissenschaftsbasierten Reduktionspfaden auf dem Weg zu Net Zero. Diese Pfade beschreiben, wie schnell und wie weit Emissionen (sektoral) sinken müssen und welches Niveau an Residualemissionen voraussichtlich verbleibt (→ Kapitel 2.2). Unternehmen begegnen diesen Pfaden in ihrer Transitionsplanung, vor allem in der Definition mittel- und langfristiger wissenschaftsbasierter Klimaziele.

Internationale Corporate Net-Zero Standards übersetzen wissenschaftsbasierte Reduktionspfade in konkrete Zielsetzungslogiken – und operationalisieren damit auch die Rolle von CDR. Besonders prägend ist hierfür die Science Based Targets initiative (SBTi), deren neuer Corporate Net-Zero Standard (Version 2)¹⁹ definiert, wie Unternehmen Reduktionspfade, Residualemissionen und die zulässige Nutzung von CDR strategisch einordnen sollen. Dabei lässt sich der CDR-Einsatz entlang dreier klarer Rollen für Unternehmen

strukturieren. Zusammen bilden diese drei Rollen die Kernlogik, mit der Unternehmen CDR strategisch und standardkompatibel in ihre Transitionsplanung integrieren können (→ Abbildung 3).

Die kompensatorische Nutzung von CDR zur Korrektur verfehlter Zwischenziele ist hingegen kein strategischer Anwendungsfall. Diese kann dazu führen, dass notwendige Emissionsreduktionen verzögert oder Zielüberschreitungen nachträglich „freigekauft“ werden, statt die Ursachen strukturell zu adressieren. Oberste Priorität muss für Unternehmen daher stets die sofortige und tiefgreifende Emissionsreduktion bleiben.

Mit der Definition der strategischen Rollen verändert sich der Bewertungsmaßstab: Die Eignung der CDR-Technologien ist nun nicht mehr absolut, sondern als Antwort auf die jeweiligen Zielsetzungen des Unternehmens zu verstehen. Da die Rollen höchst unterschiedliche Anforderungen an die Verfahren stellen, wurde für den Leitfaden eine pragmatische Heuristik entwickelt, die diese Bedarfe systematisch erfasst (→ Box 4). Über den Abgleich von gewichteten Schlüsselmerkmalen lassen sich die CDR-Technologien so den Anforderungen der Rollen zuordnen (→ Abbildung 4).

Box 4: Wie wurden die CDR-Technologien den strategischen Rollen zugeordnet?

Die Heuristik zur Bewertung von CDR-Technologien definiert je nach strategischer Rolle unterschiedliche Anforderungsprofile an die Technologien.

Für die Neutralisierung von Residualemissionen im Rahmen von Net-Zero-Zielen ist eine hohe Dauerhaftigkeit und geringe Störanfälligkeit der Kohlenstoffspeicherung zwingend erforderlich, um die langfristige physische Ausgleichswirkung zu sichern, ergänzt durch eine hohe technologische Reife sowie eine hohe Nachweisbarkeit zum Zeitpunkt des Zieljahres.

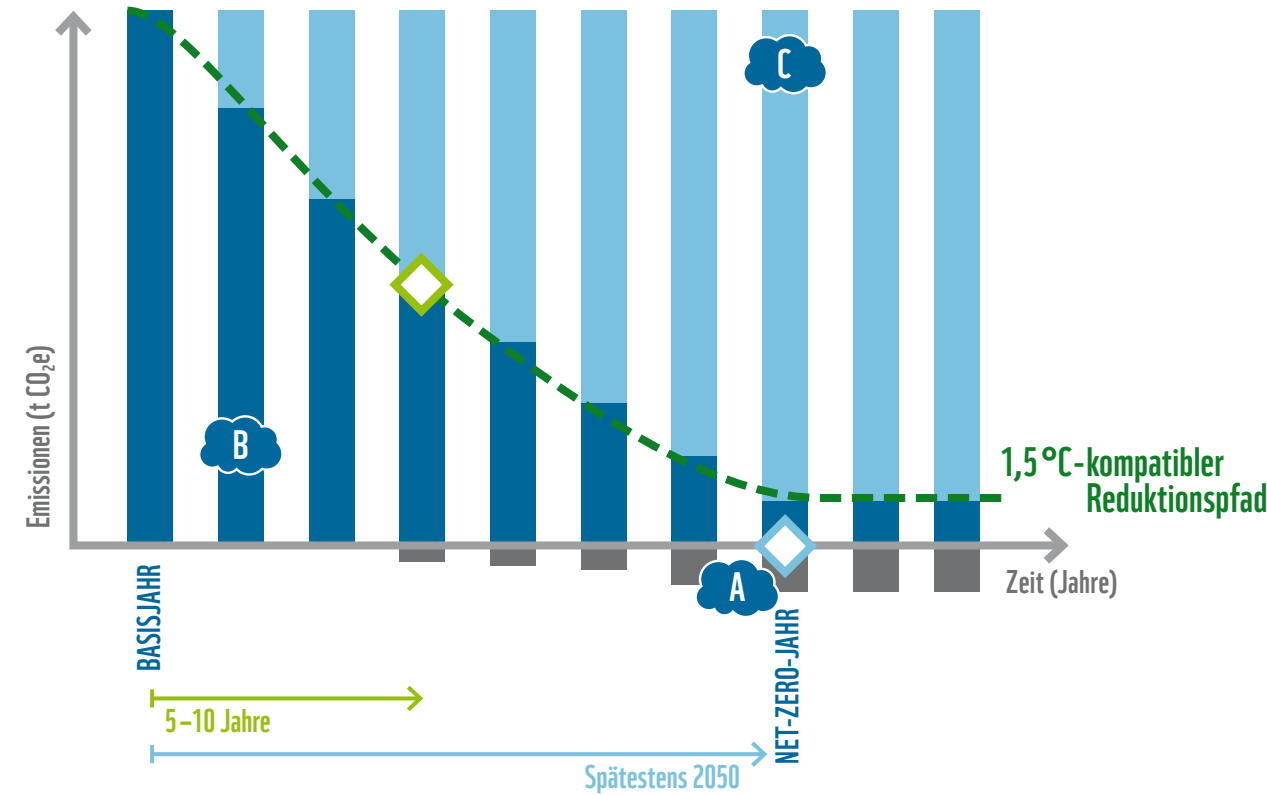
Bei der zusätzlichen Verantwortung für weiterhin anfallende Emissionen verschieben sich die Maßstäbe, wobei hier zwischen zwei unterschiedlichen Pfaden unterschieden werden kann.

Der erste Pfad fokussiert sich auf die gezielte Förderung von ökologischen Co-Benefits, bei dem primär ein hohes Potenzial für ökologische Mehrwerte als entscheidendes Kriterium für die Auswahl der Technologien herangezogen wird. Im Gegensatz dazu konzentriert sich der zweite Pfad auf die Technologie-Entwicklung, bei der Verfahren mit einem heute noch moderaten Reifegrad gefördert und zur Marktreife gebracht werden sollen.

Für die FLAG-Zielerreichung im Landsektor werden wiederum ein hoher Reifegrad sowie ein mindestens moderates bis hohes Niveau der Nachweisbarkeit vorausgesetzt. Zusätzlich zu diesen technischen Merkmalen bildet hier die Konformität mit der SBTi FLAG Guidance das maßgebliche Kriterium für die Anrechenbarkeit der gewählten Technologien.

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Abbildung 3: Strategische Rollen von CDR auf dem Weg zu Net Zero (abgeleitet von der SBTi²⁰)



Neutralisierung von Residualemissionen

CDR dient der Neutralisierung unvermeidbarer Residualemissionen im Net-Zero-Zieljahr und danach, solange sie anfallen.



Zusätzliche Verantwortung für weiterhin anfallende Emissionen

CDR kann Teil eines Portfolios sein, mit dem Unternehmen finanzielle Verantwortung für weiterhin anfallende Emissionen übernehmen (engl. „Ongoing Emissions Responsibility“, OER).



FLAG-Zielerreichung im Landsektor

Im Gegensatz zu anderen Sektoren ist CDR im Landsektor ein direkt bilanzierbarer und auf Ziele anrechenbarer Hebel der Emissionsreduktion in land- und forstwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten.²¹



Mittelfristiges SBT



Langfristiges Net-Zero-SBT

Zusammenfassung 2
Executive Summary 4

1 Einleitung 6

2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale 7

2.1 Was ist CDR (nicht)? 7

2.2 Warum braucht es CDR? 9

2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien? 10

2.4 Welche Leitplanken braucht CDR? 12

3 CDR verankern: Strategie und Rollen 14

3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan? 14

3.2 Rolle A: Neutralisierung 17

3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung 19

3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung 21

4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit 23

4.1 Standortbestimmung 24

4.2 Portfolio-Design 25

4.3 Instrumente 26

4.4 Qualitätssicherung 27

4.5 Steuerung 28

4.6 Marktentwicklung 29

5 Ausblick 30

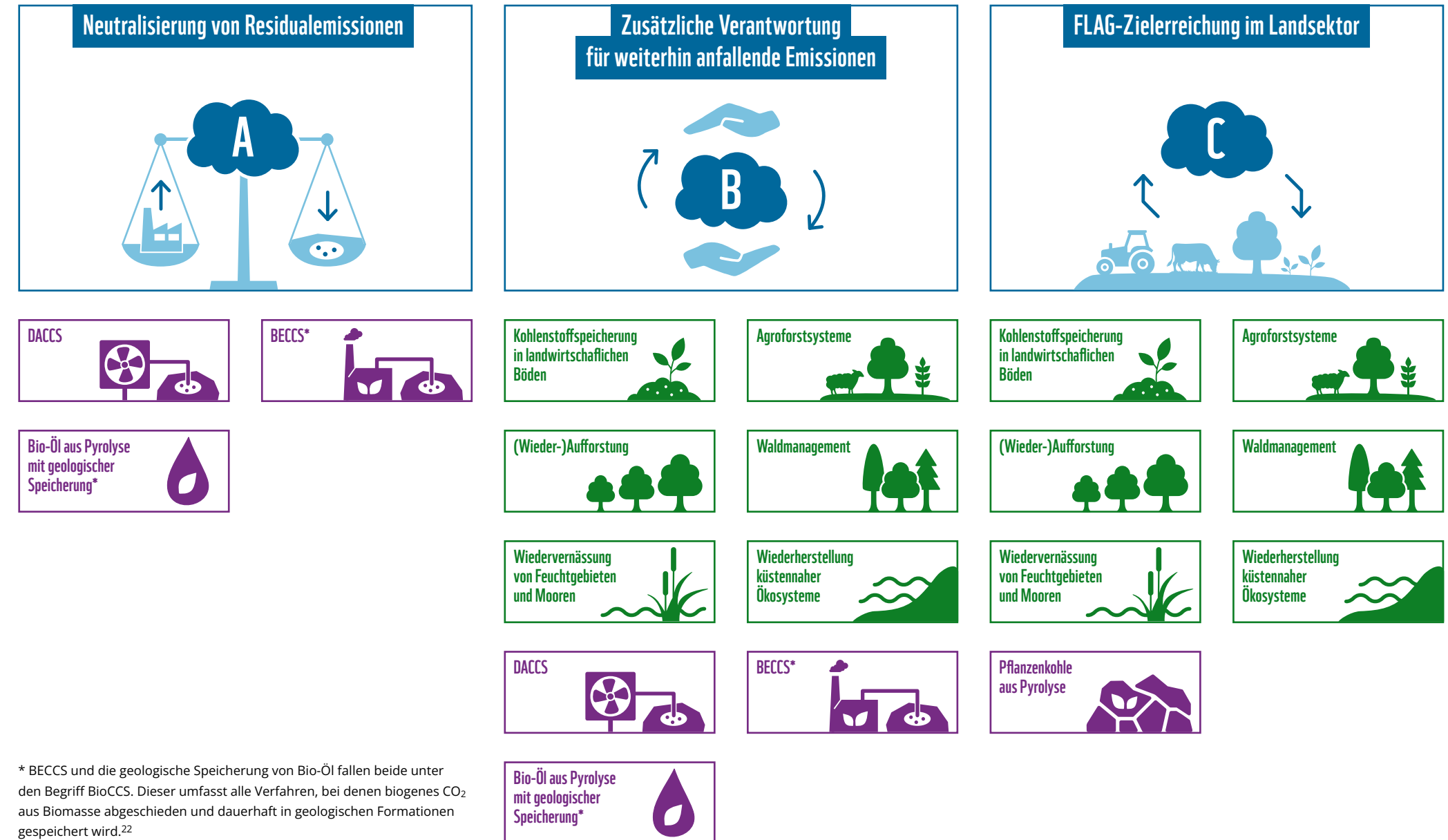
Anhang 31

Glossar 55

Referenzen 57

Impressum 58

Abbildung 4: Eignung der CDR-Technologien für die strategischen Rollen

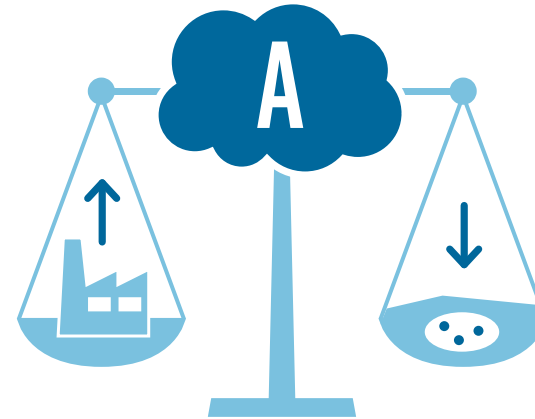


* BECCS und die geologische Speicherung von Bio-Öl fallen beide unter den Begriff BioCCS. Dieser umfasst alle Verfahren, bei denen biogenes CO₂ aus Biomasse abgeschieden und dauerhaft in geologischen Formationen gespeichert wird.²²

Legende:
 ■ Naturbasiert/konventionell ■ Technisch/neu

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

3.2 Rolle A: Neutralisierung



Neutralisierung bedeutet für Unternehmen, die Höhe ihrer unvermeidbaren Residualemissionen zu bestimmen und diese im Net-Zero-Zieljahr und solange sie anfallen durch dauerhafte CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre auszugleichen. Die Neutralisierung ist damit für Unternehmen der letzte Schritt auf dem Weg zu Net Zero und setzt voraus, dass CDR-Kapazitäten in der benötigten Menge und Qualität tatsächlich verfügbar sind. Die Höhe der eigenen Residualemissionen muss aus 1,5-Grad-kompatiblen wissenschaftlichen Reduktionspfaden abgeleitet und transparent begründet werden (→ Kapitel 2.2). Neutralisierungsziele sollten Unternehmen dabei stets getrennt von Emissionsreduktionszielen ausweisen. Das verhindert, dass die notwendige Reduktion von vermeidbaren Emissionen durch die bloße Verrechnung mit CDR-Technologien verzögert oder ersetzt wird.

Bei der Neutralisierung geht es um die Eliminierung der physikalischen Klimawirkung durch eine reale Gegenwirkung in der Atmosphäre. In Net-Zero-Kontexten wird die Neutralisierung daher als strenge Logik verstanden, die hohe Anforderungen an Nachweisbarkeit, Dauerhaftigkeit und Risikoabsicherung stellt. Langfristige, dauerhafte Speicherung ist die zentrale Voraussetzung, damit Neutralisierungsmaßnahmen wirksam sind. Für die Neutralisierung kommen daher ausschließlich Technologien infrage, die eine

Speicherung über Jahrhunderte bis idealerweise über mehr als 1.000 Jahre ermöglichen (→ Box 5).²³

Die Neutralisierung folgt zudem einer Tonne-für-Tonne-Logik: Für jede Tonne unvermeidbarer Residualemissionen muss äquivalent eine Tonne CO₂ dauerhaft aus der Atmosphäre entfernt werden. Entsprechend können nur nachweislich messbare, verifizierbare und belastbar dokumentierte CO₂-Entnahmen angerechnet werden, die über standardisierte MRV-Systeme (Monitoring, Reporting, Verification) nachvollziehbar belegt sind. Jede Entnahme muss eindeutig quantifiziert, transparent dokumentiert und durch geeignete Mechanismen (z. B. durch den Aufbau von zusätzlichen Puffern) gegen die Wiederfreisetzung abgesichert sein. Ohne robuste MRV-Prozesse und die entsprechende Datenqualität bleibt die behauptete Neutralisierung nicht überprüfbar und damit weder glaubwürdig noch strategisch steuerbar.

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58



3.2 Rolle A: Neutralisierung

Für die Neutralisierung von Residualemissionen kommen daher vor allem CDR-Technologien mit hoher Dauerhaftigkeit und robuster MRV-Fähigkeit in Frage. Diese Technologien nähern sich am stärksten der Neutralisierungslogik an, indem sie eine emittierte Tonne CO₂ durch eine äquivalente, dauerhaft gebundene Entnahme aus der Atmosphäre neutralisieren.²⁴ Dazu zählen unter der Berücksichtigung ökologischer und sozialer Schutzmaßnahmen (→ Kapitel 2.4) insbesondere:

» **Direkte CO₂-Abscheidung aus der Luft mit geologischer Speicherung (DACCS)** sowie **Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und geologischer Speicherung (BECCS)** und **Bio-Öl aus Pyrolyse**, sofern das CO₂ in geologischen Formationen dauerhaft gespeichert wird und ein belastbares MRV-System die Nachweisbarkeit ermöglicht

Die Technologien haben gemeinsam, dass sie heute noch nicht im großflächigen Umfang marktreif sind. Damit wird der Hochlauf von CDR selbst zu einer zentralen Voraussetzung der Neutralisierung. Unternehmen müssen sicherstellen, dass in ihrem Net-Zero-Zieljahr geeignete CDR-Optionen rechtzeitig verfügbar, finanzierbar und langfristig lieferfähig sind. Die entsprechende Entwicklung und Skalierung der Technologie, des Marktumfelds und eines robusten MRV-Systems sind daher entscheidende Voraussetzungen für die Nutzung (→ Box 6).

Box 5: Dauerhaftigkeit im neuen SBTi Corporate Net-Zero Standard 2.0

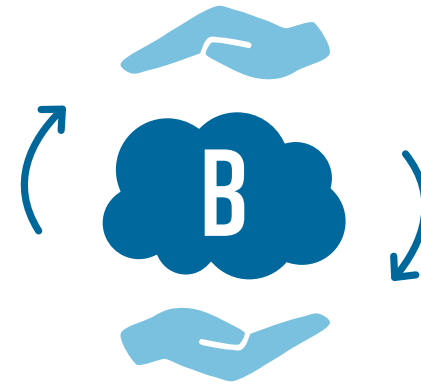
Im CNZS 2.0 unterscheidet die SBTi bei der Neutralisierung von Residualemissionen zwischen der Dauerhaftigkeit verschiedener CDR-Technologien. Sogenannte kurzlebige („short-lived“) CDR-Verfahren binden CO₂ über Zeiträume von Jahrzehnten, während langlebige („long-lived“) CDR-Technologien eine Dauerhaftigkeit über Jahrhunderte bis Jahrtausende garantieren.

Diese Differenzierung ist für die Integrität des Net-Zero-Ziels entscheidend: Die SBTi gibt vor, dass langlebige Treibhausgase wie CO₂ und N₂O ausschließlich durch langlebige CDR-Aktivitäten neutralisiert werden dürfen. Für kurzlebige Treibhausgase wie Methan (CH₄) erlaubt der Standard hingegen eine höhere Flexibilität durch die Nutzung von kurzlebigen CDR-Technologien.²⁵

Dieser Leitfaden verzichtet bei der Neutralisierung auf eine Differenzierung zwischen kurz- und langlebigen Treibhausgasen. Da auch Methan hohes Erwärmungspotenzial hat und zudem zu langlebigem CO₂ in der Atmosphäre oxidiert, bleibt eine langfristige Klimawirkung bestehen. Im Sinne einer glaubwürdigen Klimastrategie sollte die Neutralisierung daher konsequent durch langlebige CDR-Technologien erfolgen.

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung



Weiterhin anfallende Emissionen entstehen in Unternehmen entlang ihres Reduktionspfads – und ihre Klimawirkung ist unmittelbar relevant. Selbst bei wissenschaftsbasierten Reduktionspfaden emittieren Unternehmen in den Jahren, bevor sie Net Zero erreichen, weiterhin erhebliche Mengen an Treibhausgasen. Neben einer moralischen Verantwortung haben Unternehmen auch ein strategisches Interesse, diese Emissionen finanziell zu adressieren: Durch die Übernahme der Verantwortung tragen sie – zusätzlich zur eigenen Emissionsreduktion – aktiv zur Beschleunigung der systemischen Transformation bei, etwa durch die Skalierung innovativer Lösungen wie den Hochlauf von neuen CDR-Kapazitäten.²⁶ Je nach geografischer und inhaltlicher Nähe der CDR-Projekte können auch Transformationsziele im Bereich Biodiversitäts- und Wasserschutz sowie Klimaresilienz unterstützt werden.

Die zusätzliche Übernahme von Verantwortung für weiterhin anfallende Emissionen (OER) bedeutet vor allem, finanzielle Verantwortung zu tragen – im Contribution-Modell. Im vom WWF empfohlenen Geld-für-Tonne- bzw. Contribution-Modell werden weiterhin anfallende Emissionen mit einem robusten CO₂-Preis bewertet und daraus ein jährliches Budget für ein Klimafinanzierungsportfolio abgeleitet. Dieses Modell lässt das kompensatorische Denken („Offsetting“) und mit ihm die Integritätsdebatten rund um eine direkte Eins-zu-eins-Aufrechnung hinter sich.²⁷

Das Contribution-Modell erweitert die Projektlogik für CDR deutlich, um systemisch wirksame Lösungen außerhalb der Wertschöpfungskette zu skalieren. Anders als eine reine Carbon-Credit-Logik muss die Unterstützung nicht ausschließlich über tonnenbasierte und bereits erbrachte Klimaleistungen erfolgen, sondern kann auch frühe Entwicklungs- und Skalierungsphasen bislang nicht marktreifer Technologien finanzieren (z. B. über die Finanzierung der Entwicklung von MRV-Standards). Dadurch können Unternehmen gezielt dort Kapital mobilisieren, wo es für den Aufbau von Märkten, Infrastruktur und Qualitätsstandards am wirksamsten ist.

Umfassende Erläuterungen zum Contribution-Modell finden sich in den WWF-Leitfäden:

→ **Fit für Paris (2021).**

Ein Leitfaden, wie sich unternehmerische Klimastrategien mit dem Pariser Klimaabkommen vereinbaren lassen.

→ **Fit für Paris (2022).**

Ein Nachfolgemodell für die CO₂-Kompensation: wie Unternehmen zusätzlichen Klimaschutz finanzieren sollten.

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58



3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung

CDR im Contribution-Modell muss zudem nicht primär neutralisieren, sondern soll maximale systemische Wirkung und Nachhaltigkeitsbeiträge ermöglichen. Naturbasierte CO₂-Entnahmen mit hohen ökologischen und sozialen Co-Benefits können dabei wertvolle direkte und indirekte Beiträge zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung leisten. Auch wenn ihre Störanfälligkeit höher ist, weisen sie einen hohen Reifegrad auf, und können daher bereits heute direkte Klimawirkung erzielen und Temperaturspitzen mindern (→ Kapitel 2.2) sowie gleichzeitig Vorteile für die lokale Biodiversität sowie die lokale Bevölkerung bringen.²⁸ Entsprechend werden Anforderungen an Dauerhaftigkeit, Störanfälligkeit und MRV flexibler gehandhabt, da diese Maßnahmen nicht der bilanziellen Neutralisierung dienen. Auch Ansätze, deren Wirkung stärker über das Reduktionspotenzial als über das tatsächliche Entnahmepotenzial erfolgt (z. B. die Wiedervernässung von Mooren), können aufgrund der positiven Effekte für die Ökosysteme gezielt gefördert werden.

Im Contribution-Modell ist CDR schon weit vor dem Net-Zero-Zieljahr ein strategischer Baustein und sollte daher von Unternehmen über ein Portfolio gefördert werden, das kurzfristige Klimawirkung mit systemischer Transformation verbindet. Dafür sind zwei Gruppen von CDR-Technologien relevant:

- » vorrangig zu fördernde naturbasierte CDR-Ansätze mit hohen ökologischen und sozialen Co-Benefits und durch ihren hohen Reifegrad kurzfristiger Klimawirkung: **Kohlenstoffspeicherung in Böden, Agroforstsysteme, (Wieder-) Aufforstung, Waldmanagement, die Wiedervernässung von Mooren und Feuchtgebieten** sowie die **Wiederherstellung küstennaher Ökosysteme (Blue Carbon)**
- » flankierend dazu Technologien mit hohem Entwicklungspotenzial und noch fehlender globaler Marktreife und MRV-Systemen, die mittel- bis langfristig zur Neutralisierung beitragen können: **DACCS, BECCS und Bio-Öl aus Pyrolyse mit anschließender geologischer Speicherung**

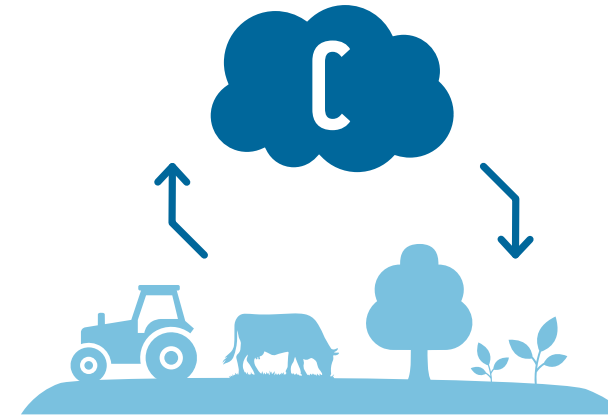
Box 6: Die Rolle von CDR im OER-Framework des SBTi Corporate Net-Zero Standard 2.0

Das Ongoing Emissions Responsibility (OER) Framework des CNZS 2.0 incentiviert Unternehmen, bereits vor Erreichen ihres Net-Zero-Ziels Verantwortung für weiterhin anfallende Emissionen zu übernehmen. **Bis 2035** bleibt die Teilnahme freiwillig und wird als von den Reduktionszielen separate **Anerkennung** (engl. „Recognition“) von der SBTi ausgewiesen. Unternehmen können dabei zwischen verschiedenen Anerkennungsstufen wählen, wobei die Abdeckung der Scope-1-3-Emissionen von 1 % bis zu 100 % ansteigt. Auch die Finanzierungsmechanismen variieren: Während in den Einstiegsstufen oft die Wahl zwischen einer Tonne-für-Tonne-basierten Förderung oder einem festen Klimaschutzbudget nach dem Contribution Modell (Geld für Tonne) besteht, erfordern höhere Stufen die Kombination beider Ansätze sowie ein Budget von mindestens 80 USD pro Tonne. In dieser Phase dient CDR als flexibler Baustein: Das Budget kann wahlweise in verifizierte Ex-post-Zertifikate, Ex-ante-Instrumente oder direkt in die Forschung und Entwicklung neuer CDR-Technologien fließen.

Ab 2035 wird die Förderung für große Unternehmen (Category A) **verpflichtend** („post-2035 requirement“). Zudem verengt sich der Fokus sukzessive von breiten Portfolios hin zur gezielten Finanzierung dauerhafter CO₂-Entnahmen (long-lived CDR, → Box 5) durch verifizierte Ex-post-Zertifikate. Ziel ist es, dass Unternehmen bis zu ihrem Net-Zero-Zieljahr die notwendigen Kapazitäten aufbauen, um 100 % ihrer Residualemissionen physikalisch zu neutralisieren.²⁹

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung



Besondere Bedeutung hat CDR für Unternehmen im Landsektor (engl. Forest, Land and Agriculture, FLAG): Land- und forstwirtschaftliche Praktiken sowie Landnutzungsänderungen beeinflussen den Kohlenstoffhaushalt direkt in beide Richtungen auf den gleichen Flächen, sowohl durch die Freisetzung von Emissionen als auch durch die Entnahme und Speicherung von CO₂ in Biomasse und Böden. Für Unternehmen mit landbasierter Wertschöpfung entstehen daraus spezifische landbasierte Emissionsprofile, die sich grundlegend von energie- oder industriebezogenen Emissionen unterscheiden. Emissionsreduktion und CO₂-Entnahme sind im Landsektor daher keine strikt getrennten Kategorien, sondern bilanziell eng miteinander verknüpft.

Mit der FLAG Guidance hat die SBTi erstmals einen eigenständigen Zielrahmen für landbasierte Emissionen und CO₂-Entnahmen geschaffen. Unternehmen können damit wissenschaftsbasierte FLAG-Ziele formulieren, die landbasierte Emissionsreduktionen und naturbasierte CO₂-Entnahmen gemeinsam adressieren. Damit wird CDR im Landsektor explizit als Bestandteil des Dekarbonisierungspfads anerkannt – nicht erst als Instrument der Neutralisierung von Residualemissionen.³⁰

FLAG-Ziele sind strikt abgegrenzt und an die eigene Wertschöpfungskette gebunden. Sie beziehen sich ausschließlich auf landbasierte Emissionen und die

naturbasierte CO₂-Entnahme und sind getrennt von Energie- und Industrieemissionen zu bilanzieren. Die Zielerreichung erfolgt primär durch Verbesserungen in Landnutzung und -management. Naturbasierte CO₂-Entnahmen können ergänzend angerechnet werden, jedoch nur, wenn sie innerhalb der eigenen Wertschöpfungskette entstehen. Das bedeutet, dass anrechenbare CO₂-Entnahmen auf Flächen erfolgen müssen, die sich im Eigentum oder unter operativer Kontrolle des Unternehmens befinden oder direkt aus Aktivitäten der eigenen Wertschöpfungskette resultieren (→ Box 7).

Entscheidend ist die separate Inventarisierung von Entnahmen und die Berücksichtigung von potenziellen Wiederfreisetzungen. Im FLAG-Kontext ist die CO₂-Entnahme Teil des unternehmensweiten Treibhausgasinventars und muss daher wie Emissionen regelmäßig separat erfasst, aktualisiert und konsistent bilanziert werden. Das bedeutet: CO₂-Entnahmen werden nicht als isolierte Projektleistung bilanziert (z. B. über CO₂-Zertifikate), sondern als direkte Folge konkreter Landnutzungs- und Managementänderungen. Der Land Sector and Removals Standard des Greenhouse Gas Protocol (GHG LSRS) liefert erstmalig klare Regeln für die Bilanzierung von naturbasierten CDR-Maßnahmen. Die Wiederfreisetzung von CO₂ – etwa durch Landnutzungsänderungen oder Extremereignisse – muss unmittelbar

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58





3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung

im Inventar als Emission erfasst und fortgeschrieben werden. Ein kontinuierliches Monitoring der CO₂-Ströme (Emissionen und Entnahme) muss daher für die korrekte Bilanzierung fortlaufend sichergestellt sein.³¹

Eine weitere zentrale Voraussetzung ist die physische Rückverfolgbarkeit von Emissionen und CO₂-Entnahmen in komplexen, dynamischen landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten. Ohne physische Rückverfolgbarkeit sind CO₂-Entnahmen weder inventarsicher anrechenbar noch strategisch steuerbar (→ Box 7).

Im Landsektor sind ausschließlich naturbasierte CDR-Technologien innerhalb der eigenen Wertschöpfungskette mit hohen ökologischen und sozialen Synergien relevant, die CO₂ in Biomasse oder Böden binden oder erhalten. Die FLAG Guidance der SBTi spezifiziert hierbei genau, welche CDR-Ansätze für die Erreichung der landbasierten Emissionsziele in Frage kommen.³² Dazu gehören:

» **Kohlenstoffspeicherung in Böden, Agroforstsysteme (inkl. silvopastoraler Systeme), Wiederaufforstung, Waldmanagement, die Wiedervernässung von Mooren und Feuchtgebieten, die Wiederherstellung küstennaher Ökosysteme (Blue Carbon) sowie Pflanzenkohle aus Pyrolyse**

Box 7: Räumliche und physische Rückverfolgbarkeit nach GHG Protocol LSRS³³

Das FLAG Accounting folgt einer spezifischen inventarbasierten Logik, bei der reale Emissionen und Entnahmen physisch erfasst und im Unternehmensinventar fortgeschrieben werden; hierfür ist der GHG LSRS zentral.

Darin wird konkretisiert, auf welchen **räumlichen Ebenen** („spatial boundaries“) Emissionen und Entnahmen landbasierter Aktivitäten in der Wertschöpfungskette bilanziell angerechnet werden können. Neben der direkten Erntefläche („harvested area“) führt er das Konzept der Land Management Unit (LMU) ein: eine geografisch abgegrenzte Landfläche, aus der ein Unternehmen Rohstoffe bezieht, die durch einen einheitlichen Bewirtschaftungsplan verwaltet wird und für die Emissions- und Managementdaten aggregiert erfasst werden können (z. B. eine Farm, ein Feld oder ein Plot). Unternehmen können auch auf Ebene der Beschaffungsregion („sourcing region“) bilanzieren. Eine Beschaffungsregion ist eine vordefinierte, räumlich explizit abgegrenzte Landfläche, die einen bestimmten Rohstoff an die erste Sammelstelle oder die erste Verarbeitungsanlage innerhalb der Wertschöpfungskette liefert.

Anrechenbar sind dabei ausschließlich Aktivitäten mit **physischer Rückverfolgbarkeit**. Dies können auditierte interne Systeme sicherstellen, aber vor allem auch Environmental Attribute Certificates (EACs) bzw. Commodity Certificates. Wichtig ist, dass diese Chain-of-Custody-Modelle mit physischer Rückverfolgbarkeit sicherstellen und ein belastbares Entnahmeprofil des zertifizierten Materials ausweisen [in t CO₂e/Outputeinheit]. Unter EACs und Commodity Certificates fallen auch Ansätze ohne physische Rückverfolgbarkeit (z. B. Book-and-Claim-Modelle), die ebenfalls Emissionsprofile kommunizieren; da die physische Kopplung fehlt und gerade im Landbereich ein erhöhtes Risiko von Carbon Leakage besteht, sind sie aber nicht anrechenbar.

Carbon Credits aus Removal-Projekten wiederum weisen zwar CO₂-Entnahmen aus, allerdings als Klimaschutzbeitrag nach projektbasierten Accounting-Methoden [in t CO₂]. Solche Carbon Credits sind, unabhängig davon, ob die Projekte innerhalb oder außerhalb der Wertschöpfungskette liegen, weder im LSRS-Inventar abbildbar noch auf FLAG-Ziele anrechenbar.

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit

Dieses Kapitel bildet die Brücke von der strategischen Konzeption zur operationalen Umsetzung. Aufbauend auf der technologischen Basis (→ Kapitel 2) und der Einordnung strategischer Rollen (→ Kapitel 3) liegt der Fokus nun auf der praktischen Operationalisierung wirksamer CDR-Portfolios. Im Mittelpunkt stehen reale Entscheidungsfragen: Welche Rolle soll CDR im Unternehmen spielen, wie wird ein Portfolio strukturiert, mit welchen Partnern und Instrumenten wird gearbeitet und wie wird Qualität langfristig gesichert?

Drei fortlaufende Fallstudien zeigen beispielhaft, wie individuelle Ausgangssituationen von Unternehmen zu unterschiedlichen, aber jeweils plausiblen CDR-Portfolios führen können. Bei den genannten Unternehmen handelt es sich um fiktive Fallstudien, die zur Veranschaulichung verschiedener Branchenprofile dienen (→ Tabelle 1). Ähnlichkeiten mit real existierenden Unternehmen sind rein zufällig und nicht beabsichtigt.




	 CloudScale Tech	 AgriFuture Systems	 Steel Core Solutions
Sektor & Größe	Tech: Cloud-Dienste & künstliche Intelligenz (internationaler Marktführer)	Agrar: Lebensmittelverarbeitung (europäischer Konzern)	Industrie: Spezialstahl-Komponenten (regionaler Champion)
Gewinnmarge	Hoch: Erlaubt hohe und frühzeitige Investitionen in zukünftige Märkte.	Moderat: Fokus auf Effizienz und Synergien mit der Wertschöpfung, um Investitionen mit Produktivitätsgewinnen zu verknüpfen.	Gering: Hoher Kostendruck; auch durch teure Investitionen in Dekarbonisierung, daher Fokus auf Wirtschaftlichkeit.
Emissionsprofil	Hohe Emissionen in Scope 2 (Energie für Rechenzentren) und Scope 3 (Hardware).	Hohe FLAG-Emissionen in Scope 3 aus landwirtschaftlichen Prozessen.	Dominante Scope-1-Emissionen (inkl. unvermeidbarer Prozess-Emissionen).
Klimaziel	Mittelfristiges und Net-Zero-Ziel nach SBTi CNZS.	Mittelfristiges und Net-Zero-Ziel nach SBTi CNZS + separate FLAG-Ziele für landbasierte Emissionen.	Mittelfristiges und Net-Zero-Ziel nach SBTi CNZS unter Berücksichtigung des Sektorpfad für den Stahlsektor.

Tabelle 1: Grundprofile der Fallstudien



Zusammenfassung 2
Executive Summary 4

1 Einleitung 6

2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale 7

2.1 Was ist CDR (nicht)? 7

2.2 Warum braucht es CDR? 9

2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien? 10

2.4 Welche Leitplanken braucht CDR? 12

3 CDR verankern: Strategie und Rollen 14

3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan? 14

3.2 Rolle A: Neutralisierung 17

3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung 19

3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung 21

4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit 23

4.1 Standortbestimmung 24

4.2 Portfolio-Design 25

4.3 Instrumente 26

4.4 Qualitätssicherung 27

4.5 Steuerung 28

4.6 Marktentwicklung 29

5 Ausblick 30

Anhang 31

Glossar 55

Referenzen 57

Impressum 58



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

4.1 Standortbestimmung

Der erste Schritt der Umsetzung ist die ehrliche Verortung der eigenen Ausgangslage im Transitionsplan. Bevor über Technologien oder Projekte gesprochen wird, müssen Unternehmen klären, welche Rollen für CDR in ihrer Klimastrategie relevant sind. Diese Rollen ergeben sich aus dem Emissionsprofil, der Wertschöpfungsstruktur, dem regulatorischen Umfeld und den wissenschaftsbasierten Reduktionspfaden, die dem Transitionsplan zugrunde liegen. CDR ist kein Selbstzweck – der Einsatz hängt davon ab, ob Residualemissionen neutralisiert (→ Kapitel 3.2), zusätzliche Verantwortung für weiterhin anfallende Emissionen übernommen (→ Kapitel 3.3) oder FLAG-Ziele im Landsektor erreicht werden sollen (→ Kapitel 3.4).




	 CloudScale Tech	 AgriFuture Systems	 Steel Core Solutions
Motivation	<p>Marktführerschaft: Aufbau von Know-how und Reputation in einem potenziellen, zukünftigen Geschäftsfeld.</p> <p>Gezielte Innovations-Förderung: Beschleunigung des Markthochlaufs durch hohe Kapitalbereitstellung.</p>	<p>Produktivität- & Resilienz-Förderung: Naturbasierte CDR-Maßnahmen in der direkten Wertschöpfungskette können die Bodenstruktur verbessern, die Abhängigkeit von Kunstdünger reduzieren und die Resilienz der Rohstoffverfügbarkeit sichern und bieten daher hohe ökologische Co-Benefits.</p>	<p>Regulatorische Konformität: Compliance mit relevanten Net-Zero-Standards und Absicherung der „License to Operate“.</p> <p>Risiko-Absicherung: Frühzeitige Kostensicherung für langfristig knappe Kapazitäten.</p>
Strategische Rolle	<p>Zusätzliche Verantwortung: Übernahme systemischer Verantwortung für weiterhin anfallende Emissionen (→ Kap. 3.3).</p>	<p>FLAG-Emissionen: CDR als integraler Bestandteil des Reduktionspfads im Landsektor (→ Kap. 3.4).</p>	<p>Neutralisierung: Fokus auf die Vorbereitung des langfristigen Ausgleichs von unvermeidbaren Residualemissionen im Net-Zero-Zieljahr (→ Kap. 3.2).</p>

Tabelle 2: Exemplarische Standortbestimmung



- Zusammenfassung 2
- Executive Summary 4
- 1 Einleitung 6
- 2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale 7
 - 2.1 Was ist CDR (nicht)? 7
 - 2.2 Warum braucht es CDR? 9
 - 2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien? 10
 - 2.4 Welche Leitplanken braucht CDR? 12
- 3 CDR verankern: Strategie und Rollen 14
 - 3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan? 14
 - 3.2 Rolle A: Neutralisierung 17
 - 3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung 19
 - 3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung 21
- 4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit 23
 - 4.1 Standortbestimmung 24
 - 4.2 Portfolio-Design 25
 - 4.3 Instrumente 26
 - 4.4 Qualitätssicherung 27
 - 4.5 Steuerung 28
 - 4.6 Marktentwicklung 29
- 5 Ausblick 30
 - Anhang 31
 - Glossar 55
 - Referenzen 57
 - Impressum 58

4.2 Portfolio-Design

Ein wirksames CDR-Engagement entsteht nicht durch Einzelentscheidungen, sondern durch ein bewusst gestaltetes Portfolio. Ein Portfolioansatz ermöglicht es, die Unterschiede der Technologien strategisch zu kombinieren, statt sich frühzeitig auf einzelne Optionen festzulegen. Ziel ist es, Klimawirkung und Risikostreuung miteinander in Einklang zu bringen.

Zentral ist die Kombination verschiedener Zeithorizonte und Wirklogiken. Kurzfristig wirksame, oft naturbasierte Ansätze können bereits heute Klimawirkung und Co-Benefits entfalten. Parallel dazu sollten Unternehmen in den Hochlauf technischer CDR-Ansätze investieren, die langfristig für die Neutralisierung benötigt werden. So entsteht ein Portfolio, das sowohl heutige Verantwortung adressiert als auch auf zukünftige Anforderungen vorbereitet.




	 CloudScale Tech	 AgriFuture Systems	 Steel Core Solutions
Auswahl an Technologien	<p>DACCS: Fokus auf hoher Dauerhaftigkeit und geringem Flächenverbrauch. Als margenstarkes Tech-Unternehmen kann CloudScale die hohen Initialkosten tragen, um den Markt zu skalieren.</p> <p>BECCS: Ergänzung durch eine weitere dauerhafte Lösung, um technologische Pfadabhängigkeiten zu vermeiden.</p> <p>Wiederherstellung küstennaher Ökosysteme (Blue Carbon): Als Tech-Konzern nutzt CloudScale dieses Engagement, um innovative MRV-Verfahren zu fördern.</p>	<p>Kohlenstoffspeicherung in Böden: Gesündere Böden führen zu stabileren Erträgen der Landwirt:innen und bieten hohes Potenzial für ökologische Co-Benefits (z. B. die Wasserspeicherung).</p> <p>Agroforst: Kombination von Landwirtschaft und Baumbestand zur Diversifizierung der Einkommensströme der Landwirt:innen. Erhöht die Kohlenstoffdichte im Vergleich zu reinem Ackerbau und bietet natürlichen Schutz gegen Extremwetterereignisse.</p>	<p>BECCS: Zentral für die kosteneffiziente Neutralisierung der eigenen Prozessemissionen mit hoher Dauerhaftigkeit. BECCS bietet derzeit deutlich niedrigere Kosten als DACCS.</p> <p>DACCS: Absicherung für den Fall, dass nachhaltige Biomasse für BECCS aufgrund von Knappheit zu teuer oder regulatorisch zu stark eingeschränkt wird.</p>
Risikostreuung	Diversifikation über verschiedene Technologie-Anbieter und Standorte.	Streuung über viele Regionen und Betriebe innerhalb der Wertschöpfungskette, um lokale Störungen und Wiederfreisetzung abzufedern.	Streuung über verschiedene Technologien, um sich gegen Kostensprünge abzusichern.

Tabelle 3: Exemplarische Portfoliostruktur und Risikostreuung



- Zusammenfassung 2
- Executive Summary 4
- 1 Einleitung 6
- 2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale 7
 - 2.1 Was ist CDR (nicht)? 7
 - 2.2 Warum braucht es CDR? 9
 - 2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien? 10
 - 2.4 Welche Leitplanken braucht CDR? 12
- 3 CDR verankern: Strategie und Rollen 14
 - 3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan? 14
 - 3.2 Rolle A: Neutralisierung 17
 - 3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung 19
 - 3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung 21
- 4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit 23
 - 4.1 Standortbestimmung 24
 - 4.2 Portfolio-Design 25
 - 4.3 Instrumente 26
 - 4.4 Qualitätssicherung 27
 - 4.5 Steuerung 28
 - 4.6 Marktentwicklung 29
- 5 Ausblick 30
 - Anhang 31
 - Glossar 55
 - Referenzen 57
 - Impressum 58

4.3 Instrumente

CDR-Portfolios können unterschiedlich nah an der tatsächlichen Umsetzung von Maßnahmen sein – von reinem Wirkungseinkauf bis zur aktiven Mitgestaltung von Projekten und Märkten. Je näher ein Unternehmen an die Umsetzung rückt, desto größer sind Einfluss, Lernpotenzial und Transformationswirkung, aber auch Komplexität und Ressourcenbedarf. Die Wahl der Finanzierungsinstrumente sollte daher bewusst zum strategischen Anspruch, zu internen Kapazitäten und zur jeweiligen Rolle passen.

Geringe Umsetzungsnähe: Marktmechanismen nutzen. Unternehmen nutzen standardisierte Wirkungseinheiten und greifen auf bereits quantifizierte sowie verifizierte Zertifikate zurück. Solche Instrumente ermöglichen eine einfache Integration in Beschaffungsprozesse, bieten jedoch nur begrenzten Einfluss auf das Projektdesign. Dazu zählen hochwertige Carbon Removal Credits mit hoher Integrität und dauerhafter Speicherleistung, die zur Neutralisierung unvermeidbarer Residualemissionen eingesetzt werden können, sofern die Bilanzierung und Berichterstattung separat von den eigentlichen Emissionsreduktionszielen erfolgt (→ Kapitel 3.2). Neben der Neutralisierung können solche Zertifikate zudem als eine von vielen Finanzierungsoptionen im Rahmen der zusätzlichen Verantwortung für weiterhin anfallende Emissionen dienen (→ Kapitel 3.3). Ergänzend können im FLAG-Kontext Environmental Attribute Certificates (EACs)




	 CloudScale Tech	 AgriFuture Systems	 Steel Core Solutions
Relevante Umsetzungsnähe	Hoch: Agiert als Marktentwickler und strategischer Investor.	Mittel: Direkte Projektintervention bei Zulieferern.	Mittel: Fokus auf Abnahmeverträge und langfristige Absicherung.
Primäre Instrumente	Venture Capital & CDR-Fonds: Aufbau und Mitgestaltung globaler Kapazitäten durch aktive Marktgestaltung.	Bilaterale Projektpartnerschaften: Volle Kontrolle über MRV-Standards und Qualitätssicherung sowie direkte Erhöhung der Resilienz.	Offtake- oder Pre-Purchasing-Vereinbarungen: Schutz vor Angebotsknappheit und Preissprüngen durch frühzeitige vertragliche Fixierung.

Tabelle 4: Exemplarische Auswahl an Finanzierungsinstrumenten

oder Commodity Certificates genutzt werden, sofern diese ein belastbares Entnahmeprofil für Materialien sowie einen physischen Bezug zur Lieferkette aufweisen (→ Kapitel 3.4).

Mittlere Umsetzungsnähe: Projekte ermöglichen und absichern. Über frühzeitige verbindliche Abnahmeverträge (z. B. Offtake- oder Pre-Purchasing-Vereinbarungen), bilaterale Projektpartnerschaften oder eine direkte Finanzierung einzelner Maßnahmen (z. B. in der eigenen Wertschöpfung) sichern sich Unternehmen frühzeitig die zukünftige Abnahme und können wichtige Anschubfinanzierung leisten. Diese Instrumente schaffen Investitions- und Kostensicherheit und liefern wertvolle Lernerfahrungen. Sie sind besonders relevant für den Hochlauf neuer

CDR-Technologien und für konkrete Maßnahmen entlang der Wertschöpfungskette.

Hohe Umsetzungsnähe: Standards und Märkte aktiv mitgestalten. Unternehmen beteiligen sich direkt an marktformenden Akteuren (z. B. über Venture Capital an Start-ups) oder engagieren sich in branchenweiten Pionier-Initiativen (z. B. über CDR-Fonds). Der Fokus liegt hier nicht mehr primär auf dem Erwerb einzelner Entnahmemengen, sondern auf dem nachhaltigen Aufbau globaler Kapazitäten, notwendiger Infrastrukturen und robuster Marktstandards. Dieser strategische Ansatz eignet sich besonders für Unternehmen, die als Marktentwickler eine aktive Führungsrolle in der nachhaltigen Skalierung des CDR-Ökosystems einnehmen wollen.

4.4 Qualitätssicherung

Die Qualität von CDR-Projekten entscheidet darüber, ob finanzierte Maßnahmen tatsächlich belastbaren Klimanutzen entfalten und gleichzeitig ökologische sowie soziale Integrität und langfristige Glaubwürdigkeit gewährleisten. Unternehmen sollten konkrete Projekte daher systematisch entlang von vier zentralen Prüfebene bewerten und transparent dokumentieren:

1. Recht, Zusätzlichkeit und Anrechnung.

Projekte müssen vollständig mit nationalem und internationalem Recht vereinbar sein. Zudem muss belegt sein, dass die CO₂-Entnahme zusätzlich ist und nicht ohne die Investition stattgefunden hätte. Ebenso entscheidend ist die eindeutige Zurechenbarkeit der Wirkung, um Doppelzählungen zwischen Akteuren oder Bilanzsystemen auszuschließen.

2. Klimawirkung, Dauerhaftigkeit und MRV.

Hochwertige Projekte weisen die Netto-Entnahme über den gesamten Lebenszyklus transparent aus – inklusive Emissionen für Energie, Rohstoffe, Infrastruktur und möglicher Leakage-Effekte. Speicherdauer, Störungsrisiken und Absicherungsmechanismen müssen klar dokumentiert sein. Grundlage ist ein robustes und zertifiziertes MRV-System, das die Entnahme und Speicherung nachvollziehbar macht und langfristig verifiziert.




	 CloudScale Tech	 AgriFuture Systems	 Steel Core Solutions
Beispiele für Prüfebene	<p>Wirtschaftliche Tragfähigkeit: Als strategischer Investor (Venture Capital) steht die Überlebensfähigkeit der Anbieter im Fokus. Ein instabiles Geschäftsmodell gefährdet die langfristige Verfügbarkeit der Entnahmekapazitäten.</p> <p>Ökologisch-soziale Integrität: Sicherstellung der Energie-Zusätzlichkeit bei DACCS (durch neue lokale Wind- und Solarenergie) sowie der ausschließliche Einsatz von Reststoffen bei BECCS.</p>	<p>Dauerhaftigkeit & MRV: Da die naturbasierten Maßnahmen störanfällig sind, liegt der Fokus auf einem robusten MRV-System, um die tatsächliche Speicherung kontinuierlich nachzuweisen.</p> <p>Ökologisch-soziale Integrität: Da die Maßnahmen auf dem Land der Zulieferer stattfinden, sind soziale Akzeptanz und faire Nutzenverteilung existenziell für die langfristige Zusammenarbeit in der Lieferkette.</p>	<p>Recht & Zurechnung: Bei langfristigen Abnahmeverträgen ist die rechtliche Exklusivität entscheidend. Steel Core muss vertraglich sicherstellen, dass jede entnommene Tonne CO₂ eindeutig zugerechnet wird und keine Doppelzählung stattfindet.</p> <p>Wirtschaftliche Tragfähigkeit: Fokus auf Anbietern mit belastbaren Geschäftsmodellen und transparenten Kostenstrukturen, um die Liefergarantien für die Net-Zero-Neutralisierung abzusichern.</p>

Tabelle 5: Exemplarische Qualitätsprüfung

3. Ökologische und soziale Integrität.

CDR-Projekte dürfen über ihren Ressourcen-, Energie- oder Infrastrukturbedarf keine erheblichen Schäden an Biodiversität, Wasserressourcen oder lokalen Lebensgrundlagen verursachen und entsprechende Risiken sollten nach dem Vorsorgeprinzip vor der Umsetzung sorgfältig identifiziert und systematisch minimiert werden. Hochwertige Projekte schaffen darüber hinaus gezielt Synergien für Ökosysteme und lokale Gemeinschaften und sollten daher prioritär gefördert werden. Entscheidend sind darüber hinaus lokale Partizipation und Zustimmung, faire Nutzen-

verteilung und die Einhaltung menschenrechtlicher Standards. Projekte müssen langfristige Akzeptanz und Beteiligung im lokalen Kontext fördern.

4. Wirtschaftliche Tragfähigkeit und Marktintegrität.

Projekte benötigen ein belastbares Geschäftsmodell, das Betrieb und Monitoring langfristig sichert. Die Preise sollten die realen Kosten hochwertiger Umsetzung widerspiegeln – auffallend niedrige Preise können ein Warnsignal sein. Transparenz über Governance und unabhängige Verifizierung stärken die Glaubwürdigkeit.

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

4.5 Steuerung

Ein CDR-Portfolio ist kein statisches Beschaffungsprogramm, sondern ein lernendes, sich entwickelndes Transformationsinstrument. Technologien reifen, Preise verändern sich, MRV-Standards werden präziser und regulatorische Anforderungen nehmen zu. Unternehmen sollten ihr Portfolio daher regelmäßig überprüfen und an neue wissenschaftliche, marktliche und regulatorische Rahmenbedingungen anpassen.

Kurzfristige Phase: Lernen, testen, Wirkung aufbauen. In dieser Phase stehen Pilotierung, Diversifizierung und Lernen im Vordergrund. Unternehmen können über die zusätzliche Verantwortung kurzfristig Wirkung finanzieren und Erfahrungen mit unterschiedlichen Technologien, Regionen und Instrumenten sammeln; die SBTi erkennt solche Beiträge als Teil unternehmerischer Verantwortung an (→ Box 6).³⁴

Übergangsphase: steigende Verbindlichkeit und Portfolio-Verschiebung durch CDR-Hochlauf. Mit zunehmender Reife der CDR-Märkte steigen auch die Erwartungen an Unternehmen. Die SBTi sieht perspektivisch verpflichtende Ausbauziele für CDR vor, was eine stärkere systematische Verankerung im Transformationsplan erfordert (→ Box 6). Gleichzeitig sollte das Portfolio schrittweise zugunsten robusterer, dauerhafter CDR-Technologien umgeschichtet werden, während Anforderungen an MRV-Systeme steigen,




	 CloudScale Tech	 AgriFuture Systems	 Steel Core Solutions
Kurzfristig Lernen & Testen	Technologie-Venture: Breite Pilotierung von Anlagen; Aufbau interner Expertise für CDR-R&D.	Lokale Piloten: Umsetzung erster Projekte mit modernen MRV-Systemen in ausgewählten Pilot-Betrieben.	Sondierung: Marktscreening und Abschluss erster kleinerer Abnahmeverträge zur Kapazitätssicherung.
Übergangsphase Hochlauf	Fokussierung: Skalierung der erfolgreichsten Tech-Ansätze.	Skalierung im Sektor: Ausrollen der MRV-Systeme auf die gesamte Lieferkette; Integration in FLAG-Ziele.	Kosten-Absicherung: Verbindliche Fixierung größerer Mengen zur Kostenkontrolle.
Langfristig Net Zero & danach	Dauerhafte Neutralisierung: Vollständige Neutralisierung der Residualemissionen durch dauerhafte CDR.	Resilienz-Management: Stabilisierung der Entnahmeleistung; Kontrolle und Steuerung von Wiederfreisetzungen.	Kosteneffizientes Net Zero: Neutralisierung der unvermeidbaren Prozessemissionen durch Andocken an geteilte Infrastrukturen und großskalige externe Entnahme-Projekte.

Tabelle 6: Exemplarische Steuerung der Portfolios

um die notwendige Skalierung der Technologien für die Neutralisierung zu gewährleisten.

Langfristige Phase: Neutralisierung und dauerhafte Integration (Net-Zero-Zieljahr und danach). Spätestens ab dem Net-Zero-Zieljahr müssen Unternehmen ihre unvermeidbaren Residualemissionen durch hochwertige, dauerhafte CDR-Technologien neutralisieren. Auch nach Erreichen von Net Zero bleibt Steuerung notwendig, um auf neue wissen-

schaftliche Erkenntnisse, Wiederfreisetzungen oder angepasste Zielpfade reagieren zu können.

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transformationsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

4.6 Marktentwicklung

Der CDR-Markt ist jung, innovationsgetrieben und institutionell im Aufbau – Unternehmen müssen ihn daher aktiv und strategisch mitentwickeln. Erfolgreiche Unternehmen verbinden ihre eigene Net-Zero-Strategie daher mit Marktentwicklung und Risikomanagement. Drei Handlungsimpulse helfen, das CDR-Portfolio zukunftsfest aufzustellen:

Impuls 1: Innovation fördern.

Unternehmen sollten Lieferbeziehungen aufbauen und zugleich in innovative Anbieter, Pilotprojekte oder MRV-Ansätze investieren, insbesondere im Rahmen von Portfolios zur zusätzlichen Verantwortungsübernahme für weiterhin anfallende Emissionen, dort, wo Marktentwicklung ausdrücklich Teil des Ziels ist.

Impuls 2: Qualität sicherstellen.

Standards und Regulierung entwickeln sich schnell weiter. Unternehmen sollten daher nur in Ansätze investieren, die steigenden Anforderungen an MRV, Dauerhaftigkeit, Transparenz sowie ökologische und soziale Integrität standhalten. Das ist besonders relevant für die Neutralisierung, bei der die höchsten Anforderungen an Dauerhaftigkeit und Robustheit gelten, und für landbasierte Maßnahmen im FLAG-Kontext, bei denen kontinuierliches MRV und Inventarintegration entscheidend sind. Frühzeitige Qualitätsorientierung reduziert das Risiko späterer Nicht-Anrechenbarkeit oder von Reputationsschäden.




	 CloudScale Tech	 AgriFuture Systems	 Steel Core Solutions
Primäre Handlungsimpulse	Innovation fördern: Finanzierung von Pionier-Anlagen (z. B. DACCS) und Förderung digitaler MRV-Tools, um Marktkapazitäten und technologische Standards zu setzen.	Synergien nutzen: Verknüpfung von CDR mit Bodengesundheit und Wasserzielen, um die Rohstoffversorgung in der Lieferkette gegen Klimarisiken abzusichern.	Qualität sicherstellen: Fokus auf maximale Anrechenbarkeit durch Verfahren mit höchster Dauerhaftigkeit, um die rechtliche Anerkennung der Neutralisierung zu garantieren.

Tabelle 7: Exemplarische Handlungsimpulse

Impuls 3: Synergien nutzen.

CDR-Engagements sollten nicht isoliert erfolgen, sondern mit unternehmerischen Transitionszielen verbunden werden – etwa mit ökologischen Zielen für Biodiversität und Wasser oder Resilienz- und Innovationsstrategien. Das ist besonders naheliegend bei CDR im Landsektor, in dem Maßnahmen direkt mit Agrarlieferketten, Biodiversitäts- oder Wasserzielen verzahnt werden können. Aber auch die zusätzliche Verantwortung bietet Spielraum, gezielt Projekte zu fördern, die strategisch relevante Regionen, Technologien oder Co-Benefits stärken.

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

5 Ausblick



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Die 1,5-Grad-Grenze bleibt der unverzichtbare Ankerpunkt der globalen Ambition. Die wissenschaftliche Notwendigkeit unterstreicht, dass auch Unternehmen ihre Transitionsplanung erweitern müssen: Neben der konsequenten Emissionsreduktion wird der gezielte Aufbau von CDR-Kapazitäten zu einem notwendigen Bestandteil unternehmerischer Klimastrategien.

Drei Erfolgsfaktoren entscheiden über die Wirksamkeit: die Skalierung von Kapazitäten, die Geschwindigkeit der Umsetzung und die Integrität der gewählten Ansätze.

Zu wenig CDR würde bedeuten, dass selbst die erforderliche Emissionsreduktion am Ende nicht ausreicht, um tatsächlich Net Zero global zu erreichen und gravierende Klimarisiken abzuwenden. Da bereits heute eine große Finanzierungslücke besteht, braucht es jetzt den Mut zur Investition. Dies setzt voraus, dass Unternehmen CDR nicht als kurzfristigen Kostenfaktor, sondern als notwendige Zukunftssicherung und Beitrag zum globalen Klimaschutz begreifen.

Zu spät zu handeln, würde bedeuten, notwendige Lernprozesse in eine Zeit zu verschieben, in der der Handlungsspielraum bereits erheblich eingeschränkt ist, und kommende Generationen vor deutlich höhere Kosten und Risiken zu stellen. Wer hingegen frühzeitig Pilotprojekte umsetzt und Erfahrungswissen als festen

Bestandteil der Transitionsplanung aufbaut, sichert sich strategische Vorteile. Erst durch vertrauensvolle Netzwerke und die Zusammenarbeit mit Entwicklern neuer Ansätze wird dieser Einsatz am Ende skalierbar.

Nicht nachhaltige CDR-Portfolios würden Vertrauen verspielen und neue ökologische oder soziale Risiken schaffen. Jede Form der CO₂-Entnahme, die der Natur schadet oder Menschen ausschließt (z. B. durch erhöhten Flächendruck oder Nutzungskonflikte) untergräbt ihre eigene Wirksamkeit und Legitimation. Deshalb muss Qualität zwingend vor Geschwindigkeit stehen. Nur durch Verantwortungsbewusstsein, Transparenz und einen engen Schulterschluss mit Wissenschaft und Zivilgesellschaft lassen sich Lösungen fördern, die tatsächlich ökologisch wertvoll und sozial gerecht sind.

Eine erfolgreiche Klimastrategie erkennt an, dass nachhaltige CO₂-Entnahmen eine knappe Ressource bleiben. Die Integration in eine zukunftsfeste Transitionsplanung minimiert daher die Abhängigkeit von CDR durch tiefgreifende Transformation und wissenschaftsbasierte Emissionsreduktion. Nur so bleiben Integrität und die begrenzten Kapazitäten für die tatsächlich unvermeidbaren Residualemissionen gewahrt. Durch diese konsequente Priorisierung der Reduktion wird CDR für Unternehmen zu einem glaubwürdigen und wirksamen Instrument auf dem Weg zu Net Zero.



Anhang A: Merkmale von CDR-Technologien

- Zusammenfassung 2
- Executive Summary 4
- 1 Einleitung 6
- 2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale 7
 - 2.1 Was ist CDR (nicht)? 7
 - 2.2 Warum braucht es CDR? 9
 - 2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien? 10
 - 2.4 Welche Leitplanken braucht CDR? 12
- 3 CDR verankern: Strategie und Rollen 14
 - 3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan? 14
 - 3.2 Rolle A: Neutralisierung 17
 - 3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung 19
 - 3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung 21
- 4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit 23
 - 4.1 Standortbestimmung 24
 - 4.2 Portfolio-Design 25
 - 4.3 Instrumente 26
 - 4.4 Qualitätssicherung 27
 - 4.5 Steuerung 28
 - 4.6 Marktentwicklung 29
- 5 Ausblick 30
 - Anhang 31
 - Glossar 55
 - Referenzen 57
 - Impressum 58

Merkmale	Kurzbeschreibung	Leitfrage	Skala
Entnahmepotenzial	Dieses Merkmal beurteilt, wie viel CO ₂ global mit der Technologie jährlich dauerhaft der Atmosphäre entzogen werden kann.	Wie hoch ist das globale Potenzial (in Gt pro Jahr in 2050), dass die Technologie effektiv CO ₂ aus der Atmosphäre entnimmt (ohne Nachhaltigkeitskriterien)?	Hoch: > 3 Gt pro Jahr in 2050 Moderat: 1–3 Gt pro Jahr in 2050 Gering: < 1 Gt pro Jahr in 2050
Reduktionspotenzial	Einige Technologien vermeiden zusätzlich CO ₂ -Emissionen, mit teils erheblich höherem Reduktions- als Entnahmepotenzial.	Wie hoch ist das Potenzial, dass die Technologie zusätzlich CO ₂ reduziert oder vermeidet?	Hoch: Hohes Reduktionspotenzial, ggf. höher als Entnahmepotenzial Moderat: Reduktionspotenzial zusätzlich zur Entnahme vorhanden, Höhe unklar oder kontextabhängig Gering: Kein signifikantes Reduktionspotenzial
Dauerhaftigkeit	Dauerhaftigkeit beschreibt, wie lange das entfernte CO ₂ gespeichert bleibt – idealerweise über Jahrhunderte bis Jahrtausende.	Wie lange kann die Technologie das entnommene CO ₂ ohne Störungen speichern?	Hoch: Mehrere Jahrtausende bis Jahrzehntausende Moderat: Jahrhunderte bis Jahrtausende Gering: Jahrzehnte bis Jahrhunderte
Störungsanfälligkeit	Technologien, deren Senke oder Speicher z. B. durch Feuer, Extremwetter oder menschliche Nutzung rückgängig gemacht werden können, gelten als störungsanfällig.	Wie hoch ist die Anfälligkeit der Speicher-pools der Technologie für natürliche Störungen (z. B. zunehmende Klimarisiken) und/oder menschliche Eingriffe?	Hoch: Signifikantes und unkontrollierbares Risiko der Reversibilität Moderat: Risiko der Reversibilität vorhanden, aber grundsätzlich kontrollierbar Gering: Kein bis geringes Risiko der Reversibilität, vollständig kontrollierbar
Nachweisbarkeit (MRV)	Ein verlässliches und transparentes System aus Monitoring, Berichterstattung und Verifizierung (MRV) ist essenziell für Vertrauen, Regulierung und Investitionen.	Wie fortgeschritten ist heute die Entwicklung und Anwendung von MRV-Methoden (Messung, Berichterstattung und Verifizierung) für die Technologie?	Hoch: Verfügbar, heute umsetzbar, präzise Nachweisbarkeit Moderat: Aufwendig, vorhanden, aber komplex/schwer umsetzbar oder noch weitere Entwicklung notwendig/Fragen zu klären Gering: Herausfordernd, noch große Hürden, Entwicklung am Anfang
Ökologische Co-Benefits	Neben der CO ₂ -Entnahmewirkung können Technologien positive oder negative Effekte auf Biodiversität, Wasserverfügbarkeit, Böden oder Klimaanpassung haben.	Wie hoch sind die ökologischen Co-Benefits in Relation zu den Risiken (z. B. für Wasser, Biodiversität, Böden oder Klimaanpassung) über den Lebenszyklus der Technologie?	Hoch: Signifikante ökologische Co-Benefits, kaum oder keine Risiken Moderat: Kontextabhängig, sowohl ökologische Co-Benefits als auch Risiken Gering: Signifikante ökologische Risiken, kaum oder keine Co-Benefits K.-o.-Kriterium: Massive und unkontrollierbare ökologische Risiken

Anhang A: Merkmale von CDR-Technologien

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Merkmale	Kurzbeschreibung	Leitfrage	Skala
Soziale Co-Benefits	Auch soziale Auswirkungen auf die lokale Wirtschaft, die Beteiligung lokaler Gemeinschaften, die faire Verteilung von Gewinnen und Lasten oder Konflikte um Land und Ressourcen sowie die Einhaltung von Menschenrechten sind zu berücksichtigen.	Wie hoch sind die sozialen Co-Benefits in Relation zu den Risiken (z. B. für Gesundheit, Menschenrechte oder die lokale Wirtschaft) über den Lebenszyklus der Technologie?	Hoch: Signifikante soziale Co-Benefits, kaum oder keine Risiken Moderat: Kontextabhängig, sowohl soziale Co-Benefits als auch Risiken Gering: Signifikante soziale Risiken, kaum oder keine Co-Benefits K.-o.-Kriterium: Massive und unkontrollierbare soziale Risiken
Reifegrad	Der Reifegrad beschreibt, wie weit die Technologie heute bereits entwickelt ist – von der Forschung bis zur großskaligen Anwendung.	Wie hoch ist der heutige Reifegrad der Technologie gemäß Technology Readiness Level (TRL) von 1 (Grundlagenforschung) bis 9 (kommerzielle Anwendung)?	Hoch: Kommerzielle Anwendung und Marktreife (TRL 7–9) Moderat: Pilotierung und Demonstration (TRL 4–6) Gering: Grundlagenforschung (TRL 1–3)
Ressourcenbedarf	Gemeint ist der materielle, energetische und landnutzungsbedingte Aufwand über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Ein hoher Bedarf kann ökologische und wirtschaftliche Grenzen setzen.	Wie hoch ist der Ressourcenbedarf entlang des gesamten Lebenszyklus der Technologie (Flächen-, Material- und/oder Energiebedarf)?	Hoch: Signifikante Bedarfe in mind. zwei Bereichen (Fläche, Material oder Energie) Moderat: Signifikanter Bedarf in einem Bereich (Fläche, Material oder Energie) Gering: Kein signifikanter Bedarf nach Fläche, Material oder Energie
Infrastrukturbedarf	Bewertet wird, wie stark bestehende Infrastrukturen genutzt oder neue aufgebaut werden müssen – etwa für Transport und Speicherung.	Wie hoch ist der Infrastrukturbedarf entlang des gesamten Lebenszyklus der Technologie (z. B. für Transport und/oder Speicherung)?	Hoch: Vollständiger Aufbau neuartiger Systeme Moderat: Bedarf an Ausbau bestehender Systeme Gering: Keine signifikante neue Infrastruktur notwendig
Kosten pro Tonne	Die Wirtschaftlichkeit wird über die heutigen geschätzten Kosten pro Tonne entzogenem CO ₂ bewertet.	Wie hoch sind die heutigen (geschätzten) Kosten für die Entnahme einer Tonne CO ₂ ?	Hoch: > 300 €/t CO ₂ Moderat: 100–300 €/t CO ₂ Gering: < 100 €/t CO ₂
Regulatorische Hürden	Hier geht es um regulatorische Hürden oder Unterstützung. Ob eine Technologie politisch akzeptiert und rechtlich zulässig ist, beeinflusst ihre Marktfähigkeit stark.	Wie hoch sind rechtliche wie politische Hürden bei der Umsetzung der Technologie – national, auf EU-Ebene und/oder international?	Hoch: Fehlende regulatorische Rahmenbedingungen bis zu Verbot Moderat: Uneinheitliche Regulatorik Gering: Keine signifikanten regulatorischen Hürden

Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien



Technologie: Kohlenstoffspeicherung in landwirtschaftlichen Böden

Beschreibung:

Die Speicherung von Kohlenstoff in landwirtschaftlichen Böden zielt darauf ab, den CO₂-Gehalt im Boden durch gezielte Bewirtschaftungspraktiken, wie reduzierte Bodenbearbeitung, Zwischenfruchtanbau oder Zufuhr organischer Substanz (z. B. Kompost), zu erhöhen. Dadurch kann mehr atmosphärisches CO₂ in organischer Substanz gebunden und im Boden gespeichert werden.

Entnahmepotenzial: moderat

Nach Schätzungen bei ca. 2 Gt CO₂ pro Jahr mit hoher Spannweite und Unsicherheit, aber geringer Flächennutzungskonflikte.

Reduktionspotenzial: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Dauerhaftigkeit: gering

Jahrzehnte bis Jahrhunderte, aber lässt sich kaum abschätzen oder garantieren.

Störanfälligkeit: hoch

Sehr anfällig gegenüber menschlichen Einflüssen durch veränderte Bewirtschaftung und Landnutzung sowie Klimawandelfolgen.

Nachweisbarkeit (MRV): moderat

MRV-Systeme sind vorhanden, gelten aufgrund der hohen Variabilität und natürlichen Schwankungen aber als sehr aufwendig und unpräzise.

Ökologische Co-Benefits: hoch

- Co-Benefits: Kann positive Einflüsse auf die Bodengesundheit und die Resilienz der Böden haben (z. B. durch gesteigerte Biodiversität, einen verbesserten Wasserhaushalt oder zusätzlichen Schutz vor Bodenerosion).
- Risiken: keine signifikanten

Soziale Co-Benefits: hoch

- Co-Benefits: Kann durch gestiegene Bodengesundheit und -produktivität sowie Produktdiversifikation positive Wirkung auf soziale Lebens- und Einkommensverhältnisse haben.
- Risiken: keine signifikanten

Reifegrad: hoch

Die Technologie ist marktreif und die Methoden sind erprobt und direkt anwendbar (TRL 8–9).

Kosten pro Tonne: gering

Werden auf unter 100 €/t CO₂ geschätzt, viele der Methoden gelten dennoch aktuell als unrentabel.

Ressourcenbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Infrastrukturbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Regulatorische Hürden: moderat

Hohe Akzeptanz, aber Reformen der Agrarpolitik und -förderung notwendig, um die Rentabilität zu erhöhen.



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien



Technologie: Agroforstsysteme

Beschreibung:

Agroforstsysteme kombinieren Acker- oder Weidewirtschaft (Silvopastorale Systeme) mit dem Anbau von Bäumen oder Sträuchern auf derselben Fläche. Durch die zusätzliche Biomasse und verbesserte Bodenstruktur fördern sie die Speicherung von Kohlenstoff in der Biomasse und im Boden.

Entnahmepotenzial:

gering
Bis zu 0,9 Gt CO₂ pro Jahr.

Reduktionspotenzial:

keine Angabe
Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Dauerhaftigkeit:

gering
Jahrzehnte bis Jahrhunderte, vor allem durch die Speicherung im Holz von Bäumen und Sträuchern.

Störanfälligkeit:

hoch
Sehr anfällig gegenüber menschlichen Einflüssen durch veränderte Bewirtschaftung und Landnutzung sowie Klimawandelfolgen.

Nachweisbarkeit (MRV):

moderat
MRV-Systeme sind vorhanden, gelten aufgrund der hohen Variabilität und natürlichen Schwankungen aber als aufwendig und unpräzise.

Ökologische Co-Benefits:

- Co-Benefits: Kann positive Einflüsse auf die Bodengesundheit und die Resilienz der Böden haben (z. B. durch gesteigerte Biodiversität, einen verbesserten Wasserhaushalt oder zusätzlichen Schutz vor Bodenerosion).
- Risiken: keine signifikanten

Soziale Co-Benefits:

- Co-Benefits: Kann durch gestiegene Bodengesundheit und -produktivität sowie Produktdiversifikation positive Wirkung auf lokale Lebens- und Einkommensverhältnisse haben.
- Risiken: potenziell geringerer Ertrag in Produktion, Auswirkungen aber stark kontextabhängig

Reifegrad:

hoch
Die Technologie ist marktreif und die Methoden sind erprobt und direkt anwendbar (TRL 8-9).

Kosten pro Tonne:

gering
Werden auf unter 100 €/t CO₂ geschätzt, es bestehen aber erhebliche Unsicherheiten und kontextspezifische Unterschiede.

Ressourcenbedarf:

gering
Kein signifikanter Bedarf an zusätzlichen Flächen, lediglich Veränderung des Landmanagements von bestehenden Flächen.

Infrastrukturbedarf:

gering
Kein signifikanter Bedarf an zusätzlicher Infrastruktur für Entnahme, Transport und/oder Speicherung. Bestehende landwirtschaftliche Infrastrukturen können genutzt werden.

Regulatorische Hürden:

moderat
Die Berücksichtigung der Eigentumsrechte der Flächen gilt als zentral für die Umsetzung. Ebenso bestehen teils bürokratische Hürden und Fehlanreize sowie hoher Beratungsaufwand und langsame Akzeptanz bei Landwirt:innen.



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien



Technologie: (Wieder-)Aufforstung

Beschreibung:

(Wieder-)Aufforstung bindet CO₂ aus der Atmosphäre, indem neue Wälder auf bisher unbewaldeten (Aufforstung) oder ehemals bewaldeten Flächen (Wiederaufforstung) angelegt werden. Der Kohlenstoff wird dabei in der ober- und unterirdischen Biomasse sowie im Waldboden gespeichert.

Entnahmepotenzial: hoch

Ca. 3,9 bis 6,2 Gt CO₂ pro Jahr, dabei stark abhängig von vorhandener Fläche, Baumarten, Bewirtschaftung und anschließender Holznutzung. Zudem gibt es eine signifikante Zeitdimension: Bäume brauchen Jahre bis Jahrzehnte zum Wachsen und zur Realisierung ihres Entnahmepotenzials.

Reduktionspotenzial: keine Angaben

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Dauerhaftigkeit: gering

Jahrzehnte bis Jahrhunderte.

Störungsanfälligkeit: hoch

Sehr anfällig gegenüber menschlichen Einflüssen durch veränderte Bewirtschaftung und Landnutzung sowie Klimawandelfolgen.

Nachweisbarkeit (MRV): hoch

MRV vorhanden, aber oftmals Gegenstand von Kritik (u. a. Carbon Leakage, Baseline-Setting, Dauerhaftigkeit) und direkte Messungen teilweise sehr herausfordernd. Zudem gilt die Gefahr der doppelten Anrechnung als hoch aufgrund der schwierigen Trennung von waldbasierten Maßnahmen.

Ökologische Co-Benefits: moderat

- Co-Benefits: Kann positive Einflüsse auf natürliche Ökosysteme (Wasserhaushalt, Biodiversität etc.) und ihre Widerstandsfähigkeit haben, sofern nachhaltige (Wieder-)Aufforstung über Maximierung der Klimawirkung (z. B. schnellwachsende Monokulturen) hinausgeht und auch den Einschlag für Holzprodukte und Bioenergie begrenzt.
- Risiken (z. B. bei Monokulturplantagen): erheblicher Biodiversitätsverlust durch Landnutzungsänderungen

Soziale Co-Benefits: gering

- Co-Benefits: Kann zusätzliche lokale Einnahmequelle durch Holzproduktion darstellen.
- Risiken: Bringt Opportunitätskosten mit sich, falls die Fläche vorher für landwirtschaftliche Zwecke genutzt wurde; zudem Auswirkungen auf Lebensmittelversorgung durch Flächen-nutzungskonflikte unklar.

Reifegrad: hoch

Die Technologie ist marktreif und die Methoden sind erprobt und direkt anwendbar (TRL 8–9).

Kosten pro Tonne: gering

Werden auf unter 100 €/t CO₂ geschätzt, die Verfahren gelten als sehr kosteneffizient.

Ressourcenbedarf: moderat

Signifikante Flächenbedarfe inkl. Flächennutzungskonflikte mit Nahrungsmittelproduktion und Schutz von Ökosystemen.

Infrastrukturbedarf: gering

Kein signifikanter Bedarf an Infrastruktur für Entnahme, Transport und/oder Speicherung.

Regulatorische Hürden: moderat

Lokale Eigentumsrechte als potenzielle Hürde und Gefahr des Landgrabblings, intensive lokale Zusammenarbeit daher erforderlich. Zudem ggf. Konflikte mit Naturschutz durch potenzielle Umwandlung von Ökosystemen.



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien



Technologie: Waldmanagement

Beschreibung:

Im Fokus der Technologie steht die klimaresiliente Umstellung bestehender Forstbewirtschaftung, um Kohlenstoffspeicher in Biomasse und Böden gezielt zu stärken. Statt konventioneller Ertragsmaximierung rücken Maßnahmen wie die Förderung langlebiger Mischbestände, verlängerte Umtriebszeiten sowie ein Verzicht auf Kahlschläge ins Zentrum. Durch eine reduzierte und bodenschonende Holzernte in bereits genutzten Wäldern kann der Erhalt des Waldökosystems gesichert und dessen Potenzial zur langfristigen CO₂-Entnahme gesteigert werden.

Entnahmepotenzial: moderat

Bis zu 1,8 Gt CO₂ pro Jahr, abhängig von Baumarten, forstwirtschaftlichen Maßnahmen, anschließender Holznutzung und standortspezifischen Faktoren (z. B. Klima).

Reduktionspotenzial: moderat

Die Entnahme- oder Reduktionswirkung ist abhängig von der Ausgestaltung. Ob CO₂-Reduktion oder -Entnahme stattfindet, hängt vor allem von der Nutzung von Holzprodukten und der Substitution emissionsintensiverer Materialien sowie von der Gestaltung des Wald- und Holznutzungssystems ab.

Dauerhaftigkeit: gering

Jahrzehnte bis Jahrhunderte, v. a. wenn die Lebensdauer über langlebige Holzprodukte verlängert wird.

Störanfälligkeit: hoch

Anfällig gegenüber Klimawandelfolgen (z. B. Bränden oder Dürren) und menschlichen Einflüssen durch veränderte Bewirtschaftung und Landnutzung. Kann aber durch gezieltes Anpassungsmanagement reduziert werden.

Nachweisbarkeit (MRV): hoch

MRV vorhanden, jedoch teilweise aufwendig aufgrund der Notwendigkeit technischer Lösungen (z. B. Satellit) und lokaler Unterstützung. Gefahr der doppelten Anrechnung ist hoch aufgrund der schwierigen Trennung von waldbasierten Maßnahmen.

Ökologische Co-Benefits: moderat

- Co-Benefits: Kann positive Einflüsse auf natürliche Ökosysteme (Wasserhaushalt, Biodiversität etc.) und ihre Resilienz haben, sofern nachhaltiges Waldmanagement über Maximierung der Klimawirkung (z. B. schnellwachsende Monokulturen) hinausgeht und auch den Einschlag für Holzprodukte und Bioenergie begrenzt.
- Risiken: hohe negative Effekte auf die Biodiversität, wenn Einschlag maximiert wird und die langfristige Klimawirkung außer Acht gelassen werden

Soziale Co-Benefits: moderat

Soziale Vorteile der Technologie sind grundsätzlich abhängig von Eigentums- und Partizipationsrechten bei der Nutzung nachhaltig bewirtschafteter Wälder.

- Co-Benefits: Kann positive Wirkung auf soziale Lebens- und Einkommensverhältnisse (z. B. Nahrungssicherheit, Arbeitsplätze) haben.
- Risiken: Opportunitätskosten durch verminderten Holzeinschlag und eingeschränkte Nutzung von Biomasse

Reifegrad: hoch

Die Technologie ist marktreif und die Methoden sind erprobt und direkt anwendbar (TRL 8–9).

Kosten pro Tonne: gering

Werden auf unter 100 €/t CO₂ geschätzt, es bestehen aber erhebliche Unsicherheiten und kontextspezifische Unterschiede.

Ressourcenbedarf: gering

Kein erheblicher Bedarf an Fläche (nur Landmanagement), Material oder Energie.

Infrastrukturbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Regulatorische Hürden: moderat

Umsetzung wird politisch erschwert durch unklare Landrechte und fehlende lokale Kapazitäten zur Schaffung des institutionellen Umfelds in einigen Regionen. Zudem gibt es Inkonsistenzen über verschiedene walddpolitische Instrumente innerhalb der EU.



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien



Technologie: Langlebige Holzprodukte

Beschreibung:

Die Speicherung von CO₂ in Holzprodukten erfolgt durch die Nutzung von Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft in langlebigen Produkten, z. B. im Bauwesen. Der in der Biomasse gebundene Kohlenstoff bleibt so gespeichert, solange das Holzprodukt erhalten bleibt und nicht verrottet oder verbrannt wird.

Entnahmepotenzial: gering

Bis zu 1,0 Gt CO₂ pro Jahr, abhängig von der Gestaltung des Wald- und Holznutzungssystems (siehe auch Waldmanagement), inkl. Bedingungen für die Holznutzung. Netto-Effekt gilt als fraglich, wenn die Gefahr der Reduktion der Entnahmeleistung des Waldes berücksichtigt wird.

Reduktionspotenzial: moderat

Emissionsreduzierende Wirkung über Material-Substitution z. B. im Gebäudesektor sowie Energie-Substitution am Ende kaskadischer Holznutzung. Ob CO₂-Reduktion oder -Entnahme stattfindet, hängt vor allem von der Nutzung von Holzprodukten und der Substitution emissionsintensiverer Materialien sowie von der Gestaltung des Wald- und Holznutzungssystems ab.

Dauerhaftigkeit: gering

Jahrzehnte bis Jahrhunderte, v. a. wenn die Lebensdauer über langlebige Holzprodukte verlängert wird.

Störanfälligkeit: hoch

Anfällig für Zerfall der (älteren) Holzprodukte am Endes des Produktlebenszyklus.

Nachweisbarkeit (MRV): gering

MRV bislang nicht bzw. kaum vorhanden, Gefahr der doppelten Anrechnung hoch aufgrund schwieriger Trennung von waldbasierten Maßnahmen.

Ökologische Co-Benefits: gering

- Co-Benefits: Positive ökologische Effekte möglich, wenn Holzprodukte nachhaltiger Waldwirtschaft entstammen und nicht aus Wäldern, deren kurzfristige Entnahmewirkung maximiert wird.
- Risiken: erhebliche negative Effekte, wenn Einschlag für (langlebige) Holzprodukte maximiert und das bestehende Ökosystem Wald gefährdet wird sowie die langfristige natürliche Klimawirkung des Ökosystems außer Acht gelassen wird.

Soziale Co-Benefits: moderat

- Co-Benefits: Kann zusätzliche lokale Einnahmequelle durch Holzproduktion darstellen.
- Risiken: potenzielle Opportunitätskosten bei verminderten Holzeinschlag und eingeschränkter Nutzung von Biomasse

Reifegrad: hoch

Die Technologie ist marktreif und die Methoden sind erprobt und direkt anwendbar (TRL 8–9).

Kosten pro Tonne: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Ressourcenbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Infrastrukturbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Regulatorische Hürden: moderat

Politische Rahmen zur Incentivierung von nachhaltiger Biomassenutzung zur Erreichung nachhaltigkeits- und entwicklungspolitischer Ziele erforderlich. Zudem Inkonsistenzen über verschiedene walddpolitische Instrumente innerhalb der EU.



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien



Technologie: Wiedervernässung von Feuchtgebieten und Mooren

Beschreibung:

Die Wiedervernässung degradierter Feuchtgebiete reduziert Treibhausgasemissionen, indem sie durch die Wiederherstellung naturnaher Wasserverhältnisse die Sauerstoffzufuhr im Boden reduziert und damit die mikrobielle Zersetzung organischer Substanz verlangsamt. In torfhaltigen Böden (z. B. Mooren) wird dadurch die Freisetzung von CO₂ gestoppt. Unter anaeroben Bedingungen können sich langfristig neue Kohlenstoffvorräte im Boden bilden.

Entnahmepotenzial: gering

Ca. 0,5 bis 1,3 Gt CO₂ pro Jahr, zudem signifikante Zeitdimension: Bildung zusätzlichen Torfs als Folge der Wiedervernässung kann mehrere Jahrzehnte dauern. Gleichzeitig weisen Moore und Feuchtgebiete aber eine sehr hohe Flächeneffizienz auf.

Reduktionspotenzial: hoch

Großes Potenzial zur THG- (nicht nur CO₂-)Reduktion im FLAG-Sektor. Moore sind aktuell Netto-Emittenten in der EU und Wiedervernässungen würden zunächst Emissionen reduzieren, bis zur THG-Entnahme durch neuen Torf-Aufbau würden Jahrzehnte vergehen. Unmittelbar nach Wiedervernässung kann es zu kurzzeitigen Methan-Emissionen kommen, die jedoch langfristig durch die gestoppte CO₂-Freisetzung überkompensiert werden.

Dauerhaftigkeit: gering

Jahrzehnte bis Jahrhunderte, solange die Fläche nass bleibt.

Störanfälligkeit: Hoch

Sehr anfällig gegenüber Klimawandelfolgen (z. B. Bränden oder Dürren) und menschlichen Einflüssen durch veränderte Bewirtschaftung und Landnutzung.

Nachweisbarkeit (MRV): moderat

MRV vorhanden und möglich, aber bei regelmäßiger und präziser Messung aufwendig und teuer.

Ökologische Co-Benefits: hoch

- Co-Benefits: Bringt positive Effekte für die lokale Biodiversität, kann den lokalen Grundwasserspiegel anheben und bietet Resilienz ggü. Klimawandelfolgen, z. B. durch Kühlungseffekte auf das Mikroklima sowie Hochwasserschutz.
- Risiken: keine signifikanten

Soziale Co-Benefits: moderat

- Co-Benefits: Die Fläche kann potenziell bewirtschaftet und Paludikultur als neue Wertschöpfungsquelle genutzt werden, die Wirtschaftlichkeit ist aktuell oftmals aber nicht gegeben.
- Risiken: Lokale Opportunitätskosten und Einbußen für Landwirt:innen erwartbar, daher Hürden zu erwarten und Entschädigungen erforderlich. Auf globaler Ebene ist nur ein minimaler Impact auf die Lebensmittelversorgung zu erwarten.

Reifegrad: hoch

Die Technologie ist marktreif und die Methoden sind erprobt und direkt anwendbar (TRL 8–9).

Kosten pro Tonne: gering

Werden auf unter 100 €/t CO₂ geschätzt, es bestehen aber Unsicherheiten und kontextspezifische Unterschiede.

Ressourcenbedarf: moderat

Signifikante Flächenbedarfe (durch Landnutzungswandel), aber kein erheblicher Bedarf an Material oder Energie.

Infrastrukturbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Regulatorische Hürden: moderat

Abhängigkeit von staatlicher Förderung und Unterstützung (u. a. Synergien durch das EU Nature Restoration Law) bei gleichzeitigen Konflikten und Fehlanreizen durch bestehende EU-Agrar- und Bioenergiepolitik. Zudem lokale Eigentumsrechte als zentrale Hürde, die lokale Zusammenarbeit und ggf. Entschädigungszahlungen erforderlich macht.



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien

Technologie: Wiederherstellung küstennaher Ökosysteme (Blue Carbon)



Beschreibung:

Die Stärkung küstennaher Ökosysteme (Blue Carbon) zielt darauf ab, CO₂ durch die Wiederherstellung, Ausweitung oder Neuanlage insbesondere von Mangroven, Salzmarschen und Seegraswiesen zu binden. Diese Ökosysteme speichern Kohlenstoff in ihrer Biomasse und vor allem in den sauerstoffarmen und salzreichen Sedimenten, wo organisches Material kaum zersetzt wird und so langfristig CO₂ gespeichert bleibt.

Entnahmepotenzial: gering

Teilweise deutlich unter 1 Gt CO₂ pro Jahr, da räumliche Begrenzung auf Küstengebiete. Zudem signifikante Zeitdimension: Entnahme kann erst langfristig erzielt werden, da die Regeneration der Ökosysteme langsam erfolgt (oft über mehrere Jahrzehnte), dafür aber sehr hohe Flächeneffizienz aufweist.

Reduktionspotenzial: hoch

Der Schutz bestehender küstennaher Ökosysteme führt zur Emissionsreduktion. Entnahmen entstehen erst durch die Wiederherstellung bzw. Ausweitung solcher Ökosysteme. Unmittelbar nach Wiederherstellung kann es zu kurzzeitigen Methan- und Lachgas-Emissionen kommen, die jedoch langfristig durch die gestoppte CO₂-Freisetzung (Lachgas) überkompensiert werden.

Dauerhaftigkeit: gering

Jahrzehnte bis Jahrhunderte, bei wenig Daten und hoher Unsicherheit.

Störanfälligkeit: hoch

Sehr anfällig gegenüber Klimawandelfolgen (z. B. Anstieg der Wassertemperatur, Versauerung oder Meeresspiegelanstieg) und menschlichen Einflüssen durch veränderte Bewirtschaftung (z. B. durch Aquakulturen).

Nachweisbarkeit (MRV): gering

MRV bislang nicht vorhanden, gilt als zentrale Herausforderung der Umsetzung.

Ökologische Co-Benefits: hoch

- Co-Benefits: Bringt positive Effekte für die lokale Biodiversität und die Erholung des Fischbestands, trägt zur Verbesserung der Wasserqualität bei und bietet Resilienz ggü. Klimawandelfolgen, z. B. durch Küstenschutz.
- Risiken: keine signifikanten

Soziale Co-Benefits: moderat

- Co-Benefits: Kann zu lokalen Vorteilen und Einnahmequellen führen (Tourismus, kulturelle Dienstleistungen, höherer Fischbestand).
- Risiken: Kann kurzfristig zu Nutzungskonflikten mit lokaler Bevölkerung (v. a. bei intensivem Fischfang) führen. Die lokale Bevölkerung sollte daher gerecht beteiligt werden.

Reifegrad: hoch

Großskalige Demonstration und Marktreife (TRL 7–8) bei Mangroven und Salzmarschen. Bei Seegraswiesen deutlich niedriger auf Basis von vereinzelt Feldexperimenten (TRL 3–4).

Kosten pro Tonne: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Ressourcenbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Infrastrukturbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Regulatorische Hürden: gering

Positive Synergien mit Naturschutzgesetzen in der EU (u. a. Nature Restoration Law). Soziale und ordnungspolitische Herausforderungen gelten als bewältigbar, zudem erfährt die Technologie hohe soziale Akzeptanz.



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58



Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien



Technologie: Pflanzenkohle aus Pyrolyse

Beschreibung:

Die Herstellung von Pflanzenkohle beginnt mit der CO₂-Bindung während des Biomassewachstums durch Photosynthese. Bei der anschließenden Pyrolyse – der Zersetzung von Biomasse unter Sauerstoffabschluss und hohen Temperaturen – entstehen drei Produkte: Pflanzenkohle, flüssige Pyrolyseöle (Bio-Öl) und Pyrolysegase. Dadurch wird der organische Kohlenstoff in der Pflanzenkohle in eine stabilere Form überführt, die z. B. durch Ausbringung auf landwirtschaftlichen Flächen oder durch Nutzung in Baustoffen gespeichert werden kann.

Entnahmepotenzial: moderat

Große Spannweite von 0,2 bis 6,6 Gt CO₂ pro Jahr, stark abhängig von Verfügbarkeit von Biomasse, Pyrolyse-Verfahren und anschließender Nutzung der Nebenprodukte. Tendenziell deutlich geringer, wenn strenge ökologische Leitplanken an die Biomassennutzung angelegt werden.

Reduktionspotenzial: moderat

Reduktionsleistung zusätzlich zur Entnahme möglich, hängt aber erheblich von der Verwendung der Nebenprodukte (Bio-Öl und -Gas) als Substitution für fossile Rohstoffe und den Emissionen der Biomasseproduktion ab. Zusätzliche indirekte Reduktionseffekte sind u. a. auch durch einen reduzierten Einsatz von Düngemitteln möglich. Die Emissionen aus Biomasse-Produktion und -Bereitstellung können hoch sein.

Dauerhaftigkeit: moderat

Jahrhunderte bis Jahrtausende, aber noch erhebliche Unsicherheit über tatsächliche Dauerhaftigkeit bei Ausbringung auf landwirtschaftlichen Flächen, potenziell höher bei Verwendung in Baustoffen.

Störanfälligkeit: gering

Kontextabhängig, aber potenziell gering, weil die Kohlenstoffverbindungen als relativ stabil gelten. Allerdings gibt es auch hier noch erhebliche Unsicherheiten.

Nachweisbarkeit (MRV): moderat

MRV für Teilschritte vorhanden (u. a. für den Pyrolyseprozess), aber weiter Herausforderungen bei Nachweis der Speicherdauer.

Ökologische Co-Benefits: moderat

- Co-Benefits und Risiken: stark kontextabhängig und hohe Unsicherheit. Grundsätzlich abhängig von den Produktionsbedingungen der Biomasse (erhebliche Risiken für Ökosysteme durch intensivierte Land- und Forstwirtschaft). Ebenso hängt die ökologische Wirkung von der Qualität der Biomasse und den lokalen Bodeneigenschaften ab. Pflanzenkohle kann bei hoher Qualität positive Effekte auf Bodengesundheit und Pflanzenwachstum haben. Es können aber auch negative Effekte auftreten, z. B. durch kontaminierte Biomasse und Schadstoffe, die im Pyrolyseprozess entstehen können.

Soziale Co-Benefits: moderat

- Co-Benefits: Chancen für lokale Wertschöpfung durch neue Märkte für Biomasse und potenzielle Produktivitätssteigerungen auf den Flächen
- Risiken: Risiken für Lebensmittelproduktion aufgrund potenzieller Flächennutzungskonflikte

Reifegrad: hoch

Großflächiger Einsatz von Prototypen im Reallabor und beginnende Kommerzialisierung. Eine zeitnahe Skalierung gilt als möglich (TRL 7).

Kosten pro Tonne: moderat

100–300 €/t CO₂, durch Nutzung der Nebenprodukte zur Energieerzeugung können Kosten reduziert werden. Das würde aber wiederum das Entnahmepotenzial reduzieren.

Ressourcenbedarf: hoch

Indirekter Flächenbedarf durch signifikanten Materialinput von nachhaltiger Biomasse. Auch besteht Energiebedarf für den Pyrolyseprozess, dieser kann aber teilweise durch die Nutzung der Nebenprodukte reduziert werden.

Infrastrukturbedarf: moderat

Bedarf an Pyrolyse-Anlagen, aber kein signifikanter Bedarf an Infrastruktur für Transport oder Speicherung, da Pflanzenkohle grundsätzlich dezentral produziert und ausgebracht werden kann.

Regulatorische Hürden: gering

Laut EU-Düngemittelverordnung darf Pflanzenkohle aus fast jeder Art von Biomasse in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Teilweise untergraben unabgestimmte EU-Politik-Vorhaben die Nachhaltigkeit (Energie-, Biodiversitäts- und LULUCF-Politik).

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien



Technologie: Bio-Öl aus Pyrolyse mit geologischer Speicherung

Beschreibung:

Die Herstellung von Bio-Öl beginnt mit der CO₂-Bindung während des Biomassewachstums durch Photosynthese. Bei der anschließenden Pyrolyse – der Zersetzung von Biomasse unter Sauerstoffabschluss und hohen Temperaturen – entstehen drei Produkte: Pflanzkohle, flüssige Pyrolyseöle (Bio-Öl) und Pyrolysegase. Das Bio-Öl kann in geologischen Formationen über lange Zeiträume gespeichert werden, sofern es nicht anderweitig stofflich oder energetisch genutzt wird. Die Technologie kann aufgrund der geologischen Speicherung auch unter den Begriff BioCCS gefasst werden.

Entnahmepotenzial: moderat

Keine präzise Schätzung möglich, eng gekoppelt an Pflanzkohle. Dauerhafte Speicherung des Pyrolyse-Öls kann Entnahmepotenzial der Pyrolyse insgesamt wesentlich erhöhen.

Reduktionspotenzial: moderat

Entnahme- oder Reduktionswirkung abhängig von stofflicher Substitution (Reduktion) oder geologischer Speicherung (Entnahme) des Pyrolyse-Öls. Bei stofflicher Verwertung handelt es sich um eine Reduktionsmaßnahme für den nutzenden Sektor, z. B. Flugverkehr, und nicht um CDR. Die Emissionen aus Biomasse-Produktion und -Bereitstellung können hoch sein.

Dauerhaftigkeit: hoch

Über Jahrtausende bis Jahrzehntausende bei geologischer Speicherung des Öls.

Störanfälligkeit: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Nachweisbarkeit (MRV): keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Ökologische Co-Benefits: gering

- Co-Benefits und Risiken: stark kontextabhängig und hohe Unsicherheit. Grundsätzlich abhängig von den Produktionsbedingungen der Biomasse und damit erhebliche Risiken für Ökosysteme durch intensivierte Land- und Forstwirtschaft. Daher ökologische Leitplanken für die Verwendung von Biomasse erforderlich.

Soziale Co-Benefits: moderat

- Co-Benefits: Chancen für lokale Wertschöpfung durch neue Märkte für Biomasse
- Risiken: Risiken für Lebensmittelproduktion aufgrund potenzieller Flächennutzungskonflikte

Reifegrad: moderat

Validierung von Prototypen im Reallabor (TRL 5–6), Pyrolyse-Anlagen weitestgehend vorhanden, Speichertechnologie (CCS) noch nicht.

Kosten pro Tonne: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Ressourcenbedarf: hoch

Indirekter Flächenbedarf durch signifikanten Materialinput von nachhaltiger Biomasse, sowie zusätzlicher Energiebedarf für Transport und Speicherung (CCS).

Infrastrukturbedarf: hoch

Bedarf an Pyrolyse-Anlagen, sowie signifikanter Bedarf für Transport und zentrale Speicherung durch CCS-Technologie.

Regulatorische Hürden: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien



Technologie: Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und geologischer Speicherung (BECCS)

Beschreibung:

Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und geologischer Speicherung (BECCS) bezeichnet die energetische Nutzung von Biomasse, bei der freigesetztes CO₂ technisch abgeschieden und anschließend dauerhaft geologisch gespeichert wird. Atmosphärisches CO₂ wird vorher in der Biomasse gebunden. Der Begriff BioCCS umfasst zusätzlich auch nicht-energetische Prozesse zur Abscheidung von CO₂, wie z. B. die Gewinnung von Bio-Öl aus der Pyrolyse mit anschließender geologischer Speicherung.

Entnahmepotenzial: moderat

Große Spannweite und Unsicherheit in den Quellen (0,52–9,45 Gt CO₂ pro Jahr). Stark abhängig und gleichzeitig begrenzt durch Verfügbarkeit von nachhaltiger Biomasse. Deutlich geringer, wenn strenge ökologische Kriterien an die Biomassenutzung angelegt werden.

Reduktionspotenzial: moderat

Ob THG-Reduktion, Entnahme oder gar zusätzliche Emissionen stattfinden, hängt davon ab, ob Bioenergie als Alternative zu fossilen Brennstoffen, erneuerbarer Energieerzeugung oder zusätzlich genutzt wird. Die Emissionen aus Biomasse-Produktion und -Bereitstellung können hoch sein.

Dauerhaftigkeit: hoch

Über Jahrtausende bis Jahrzehntausende durch geologische Speicherung.

Störanfälligkeit: gering

Geologische Speicherung (CCS) gilt potenziell als wenig störanfällig.

Nachweisbarkeit (MRV): moderat

MRV vorhanden, aber aufwendig und komplex aufgrund der Notwendigkeit der LCA-Berechnung der verwendeten Biomasse.

Ökologische Co-Benefits: gering

- Co-Benefits und Risiken: stark kontextabhängig und hohe Unsicherheit. Grundsätzlich abhängig von den Produktionsbedingungen der Biomasse (erhebliche Risiken für Ökosysteme durch intensivierte Land- und Forstwirtschaft).

Soziale Co-Benefits: moderat

- Co-Benefits: Chancen für lokale Wertschöpfung durch neue Märkte für Biomasse
- Risiken: Risiken für Lebensmittelproduktion aufgrund potenzieller Flächennutzungskonflikte

Reifegrad: moderat

Validierung von Prototypen im Reallabor (TRL 6).

Kosten pro Tonne: moderat

Zwischen 100 und 300 €/t CO₂ bei hoher Unsicherheit.

Ressourcenbedarf: hoch

Indirekter Flächenbedarf durch signifikanten Materialinput von nachhaltiger Biomasse, Energiebedarf kann durch Energiegewinnung anteilig gedeckt werden.

Infrastrukturbedarf: hoch

Signifikanter Bedarf an geeigneten Bioenergie-Anlagen sowie für Transport und zentrale Speicherung durch CCS-Technologie.

Regulatorische Hürden: hoch

Mögliche Fehlanreize für die Nutzung von Biomasse, da sektorübergreifende Regulatorik für die Nutzung von Biomasse noch nicht abgestimmt ist. Zudem regulatorische Hürden für Transport und Speicherung (CCS).



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien



Technologie: Direkte CO₂-Abscheidung aus der Luft mit geologischer Speicherung (DACCS)

Beschreibung:

Direkte CO₂-Abscheidung aus der Luft mit geologischer Speicherung (DACCS) bezeichnet Verfahren, die CO₂ technisch direkt aus der Umgebungsluft filtern (DAC) und mittels CCS geologisch speichern. Die Abscheidung erfolgt durch chemische oder physikalische Prozesse, bei denen das CO₂ an Feststoffe oder Flüssigkeiten gebunden wird.

Entnahmepotenzial: hoch

Große Spannweite und Unsicherheit in den Quellen, grundsätzlich wird der Technologie sehr hohes Skalierungspotenzial zugeschrieben. Stark abhängig und gleichzeitig begrenzt durch die Verfügbarkeit von zusätzlicher Wind- und Solarenergie.

Reduktionspotenzial: gering

Die Netto-Bilanz der Technologie führt nur zu einer Entnahme, wenn zusätzliche Wind- oder Solarenergie ohne Nutzungskonkurrenz verwendet werden. Die Nutzung fossiler Energien zur Betreibung der Technologie würde zu erheblichen zusätzlichen Emissionen führen.

Dauerhaftigkeit: hoch

Über Jahrtausende bis Jahrzehntausende durch geologische Speicherung.

Störanfälligkeit: gering

Geologische Speicherung (CCS) gilt potenziell als wenig störanfällig.

Nachweisbarkeit (MRV): hoch

MRV größtenteils vorhanden oder in fortschreitender Entwicklung und umsetzbar.

Ökologische Co-Benefits: gering

- Co-Benefits: keine signifikanten
- Risiken: Je nach Technologie und Region kann ein erhöhter Wasserverbrauch zum Risiko werden. Bestehende Unsicherheit zu den Abscheidungsstoffen und deren Umweltauswirkungen.

Soziale Co-Benefits: gering

- Co-Benefits: keine signifikanten
- Risiken: Kann erhebliche Nutzungskonflikte um Wind- und Solarenergie mit sich bringen.

Reifegrad: Moderat

Validierung von Prototypen im Reallabor (TRL 6).

Kosten pro Tonne: Hoch

Aktuell deutlich über 300 €/t CO₂, Tendenz teilweise erheblich höher und große Spannweite.

Ressourcenbedarf: Hoch

Flächenbedarf für DAC-Anlagen, hoher Materialbedarf an Wasser und chemischen Bindemitteln, sowie sehr hoher Bedarf an zusätzlicher Wind- und Solarenergie.

Infrastrukturbedarf: Hoch

Signifikanter Bedarf an DAC-Anlagen sowie für Transport und zentrale Speicherung durch CCS-Technologie.

Regulatorische Hürden: Hoch

Bestehende regulatorische Hürden für Transport und Speicherung (CCS).



Zusammenfassung 2

Executive Summary 4

1 Einleitung 6

2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale 7

2.1 Was ist CDR (nicht)? 7

2.2 Warum braucht es CDR? 9

2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien? 10

2.4 Welche Leitplanken braucht CDR? 12

3 CDR verankern: Strategie und Rollen 14

3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan? 14

3.2 Rolle A: Neutralisierung 17

3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung 19

3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung 21

4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit 23

4.1 Standortbestimmung 24

4.2 Portfolio-Design 25

4.3 Instrumente 26

4.4 Qualitätssicherung 27

4.5 Steuerung 28

4.6 Marktentwicklung 29

5 Ausblick 30

Anhang 31

Glossar 55

Referenzen 57

Impressum 58

Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien

Technologie: Beschleunigte Gesteinsverwitterung

Beschreibung:

Die beschleunigte Gesteinsverwitterung nutzt fein zermahlene silikatische Gesteine (z. B. Basalt), die auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden, um CO₂ aus der Atmosphäre zu binden. In Reaktion mit dem als Kohlensäure in Regenwasser gebundenen atmosphärischen CO₂ entsteht im Boden Bikarbonat. Gelangt es über Flüsse ins Meer, so erhöht es dort die Ozeanalkalität oder wird durch die Bildung von Kalziumkarbonat (z. B. in Form von Kalksedimenten) gespeichert. Der Ansatz ahmt den natürlichen Prozess der Gesteinsverwitterung nach und beschleunigt ihn technisch.

Entnahmepotenzial: moderat

Ca. 2–4 Gt CO₂ pro Jahr, abhängig von der Art des Gesteins, standortspezifischen Faktoren (z. B. Klima, Wasserverfügbarkeit), Zusammensetzung und biologischer Aktivität im Boden und dem Vorhandensein von Wind- und Solarenergie.

Reduktionspotenzial: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Dauerhaftigkeit: hoch

Über Jahrtausende bis Jahrzehntausende. Die Mineralisierung führt potenziell zu stabilen chemischen Verbindungen.

Störanfälligkeit: gering

Mineralische Kohlenstoffverbindungen gelten als sehr stabil. Zudem besteht die Chance, durch potenziell positive Effekte auf die Bodengesundheit die Störanfälligkeit des Bodens zu verringern.

Nachweisbarkeit (MRV): gering

MRV bislang nur teilweise vorhanden oder noch in Entwicklung und größtenteils auf Modellierungen basierend.

Ökologische Co-Benefits: gering

- Co-Benefits: potenzielle Verbesserung der Bodenqualität sowie besseres Pflanzenwachstum, dadurch auch gesteigerte Widerstandsfähigkeit gegenüber Extremwetterereignissen. Zudem ggf. Substitution von Düngemitteln möglich.
- Risiken: negative Auswirkungen des intensivierten Bergbaus auf die Luftqualität (durch Staub) und Bedrohung von Ökosystemen durch Landnutzungsänderungen. Zudem können bei Ausbringung einiger Gesteinsarten Schwermetalle freigesetzt werden, mit potenziell negativen Auswirkungen auf die Biodiversität.

Soziale Co-Benefits: gering

- Co-Benefits: potenzielle Beschäftigungsmöglichkeiten und Einnahmequellen durch den Bergbau sowie höhere Ernteerträge in der Landwirtschaft durch Produktivitätssteigerung
- Risiken: mögliche lokale Gesundheitsrisiken durch Lärm- und Luftverschmutzung mit Staub, ggf. auch Schwermetallkontamination in Lebensmitteln. Zudem potenzielle Flächennutzungskonflikte mit lokaler Bevölkerung.

Reifegrad: moderat

Die Technologie befindet sich noch in der Laborphase mit begrenzten Feldtests (TRL 3–4). Weitere Forschung ist erforderlich.

Kosten pro Tonne: moderat

Zwischen 100 und 300 €/t CO₂, Tendenz aber teilweise höher und große Unsicherheit.

Ressourcenbedarf: hoch

Hoher Materialbedarf von geeignetem Gestein sowie erhöhter Wassereinsatz für Bergbauaktivitäten, zudem erheblicher Bedarf an Wind- und Solarenergie (u. a. für Abbau und Mahlung).

Infrastrukturbedarf: hoch

Erheblicher Bedarf an zusätzlichen Bergbau-Aktivitäten, zudem zusätzlicher Bedarf an Transport, aber kein signifikanter Bedarf an Speicherinfrastruktur, da das gemahlene Gestein dezentral auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden kann.

Regulatorische Hürden: moderat

Bisher keine signifikanten regulatorischen Hürden, aber auch keine Anreize aufgrund des niedrigen Reifegrads.



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58



Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Technologie: Kohlenstoffbasierte Baustoffe

Beschreibung:

Kohlenstoffbasierte Baustoffe sind langlebige Baumaterialien (z. B. Zement), die zusätzlich mit atmosphärischem CO₂ angereichert werden, um CO₂ dauerhaft im Bauwerk zu binden. Der Kohlenstoff kann dabei u. a. in Form von Pflanzenkohle als Zusatzstoff eingebracht, durch mineralische Karbonisierung in Gesteinsmaterialien gebunden oder als Kohlenstofffasern in Verbundwerkstoffen verarbeitet werden.

Entnahmepotenzial: moderat

Bis zu 3 Gt CO₂ pro Jahr, abhängig auch von den Emissionen im Produktionsprozess, der Verfügbarkeit von nachhaltiger Biomasse und dem Ausmaß der zusätzlichen Entnahmen durch die natürliche Verwitterung des Baumaterials.

Reduktionspotenzial: moderat

Entnahme- oder Reduktionswirkung sind abhängig von den Emissionen aus der Produktion der Baustoffe. Wird weniger entnommen als erzeugt, findet ggf. lediglich eine Reduktion des Fußabdrucks der Baumaterialien ggü. konventionellen Baumaterialien statt.

Dauerhaftigkeit: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Störanfälligkeit: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Nachweisbarkeit (MRV): keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Ökologische Co-Benefits: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Soziale Co-Benefits: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Reifegrad: moderat

Validierung von Prototypen im Reallabor in Form von ersten Pilotprojekten.

Kosten pro Tonne: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Ressourcenbedarf: hoch

Indirekter Flächenbedarf durch signifikanten Materialinput von nachhaltiger Biomasse und geeignetem Bindemittel (z. B. recycelter Beton, Kalk oder Basalt), zudem erheblicher Bedarf an Wind- und Solarenergie.

Infrastrukturbedarf: hoch

Indirekter signifikanter Bedarf an Bioenergie- bzw. Pyrolyse-Anlagen zur Gewinnung des CO₂ aus nachhaltiger Biomasse.

Regulatorische Hürden: hoch

Bislang noch ausstehende regulatorische Zulassung in Deutschland.

Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien



Technologie: Künstliche Photosynthese

Beschreibung:

Die künstliche Photosynthese ist ein technischer Prozess, bei dem durch technische chemische Reaktionen CO₂ aus der Atmosphäre aufgenommen und in andere chemische Verbindungen überführt wird, ähnlich wie es Pflanzen tun. Das abgeschiedene CO₂ kann anschließend oberflächennah gespeichert oder weiterverwendet werden.

Entnahmepotenzial: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Reduktionspotenzial: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Dauerhaftigkeit: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Störanfälligkeit: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Nachweisbarkeit (MRV): keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Ökologische Co-Benefits: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Soziale Co-Benefits: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Reifegrad: gering

Konzeptionelle Grundlagenforschung (TRL 1–2). Überlegungen basieren bislang überwiegend auf theoretischen und modellierten Annahmen.

Kosten pro Tonne: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Ressourcenbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Infrastrukturbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Regulatorische Hürden: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien



Technologie: Vergrabung von Biomasse an Land

Beschreibung:

Die Vergrabung von Biomasse zielt darauf ab, organisches Material wie Pflanzenreste oder landwirtschaftliche Abfälle in tiefere, sauerstoffarme Bodenschichten einzubringen. Dadurch soll die mikrobielle Zersetzung verlangsamt und der enthaltene Kohlenstoff über längere Zeiträume im Boden gespeichert werden.

Entnahmepotenzial: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Reduktionspotenzial: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Dauerhaftigkeit: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Störanfälligkeit: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Nachweisbarkeit (MRV): keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Ökologische Co-Benefits: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Soziale Co-Benefits: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Reifegrad: gering

Konzeptionelle Grundlagenforschung (TRL 1–2). Überlegungen basieren bislang überwiegend auf theoretischen und modellierten Annahmen.

Kosten pro Tonne: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Ressourcenbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Infrastrukturbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Regulatorische Hürden: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien

Technologie: Versenkung von Biomasse im Meer



Beschreibung:

Die gezielte Versenkung von Biomasse im Meer umfasst das Einbringen großer Mengen von Biomasse – etwa aus Algenkultivierung – in tiefe, sauerstoffarme Meereszonen. Dort soll der enthaltene Kohlenstoff mikrobiell langsamer zersetzt und so dem atmosphärischen Kohlenstoffkreislauf über längere Zeiträume entzogen werden.

Entnahmepotenzial: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Reduktionspotenzial: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Dauerhaftigkeit: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Störanfälligkeit: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Nachweisbarkeit (MRV): keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Ökologische Co-Benefits: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Soziale Co-Benefits: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Reifegrad: gering

Konzeptionelle Grundlagenforschung (TRL 1–2). Überlegungen basieren bislang überwiegend auf theoretischen und modellierten Annahmen.

Kosten pro Tonne: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Ressourcenbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Infrastrukturbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Regulatorische Hürden: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58



Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Technologie: Kultivierung von Makroalgen

Beschreibung:

Makroalgen wie Kelp können gezielt in Schelfmeeren oder auf dem offenen Meer kultiviert werden, um Kohlenstoff aus dem Meerwasser zu binden. Beim Wachstum nehmen die Algen CO₂ auf, das im Wasser gelöst ist und dort in einem ständigen Austausch mit der Atmosphäre steht. Für die Speicherung kann die Biomasse nach der Ernte entweder landbasierten Verfahren wie BECCS oder Pflanzkohle zugeführt oder kontrolliert in der Tiefsee versenkt werden.

Entnahmepotenzial: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Reduktionspotenzial: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Dauerhaftigkeit: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Störanfälligkeit: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Nachweisbarkeit (MRV): gering

MRV-Systeme bislang nicht vorhanden.

Ökologische Co-Benefits: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Soziale Co-Benefits: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Reifegrad: moderat

In Asien bereits fortgeschrittene Erforschung und teilweise kommerzielle Anwendung, aber mit Fokus auf Kultivierung und Nutzung (Bioökonomie), nicht auf die Entnahme.

Kosten pro Tonne: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Ressourcenbedarf: moderat

Signifikanter Bedarf an Meeresoberflächen für Anbauanlagen. Zudem erhöhter Energiebedarf für Ernte und Transport. Dieser kann aber teilweise durch die Technologie selbst gedeckt werden (bei anschließender Energiegewinnung durch z. B. BECCS).

Infrastrukturbedarf: hoch

Signifikanter Bedarf an Kultivierungsinfrastruktur im offenen Meer sowie für Transport- und Speicherinfrastruktur (Pyrolyseanlagen oder BECCS).

Regulatorische Hürden: hoch

Erhebliche internationale regulatorische Hürden (v. a. durch Londoner Konvention und Protokoll).

Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien

Technologie: Direkte CO₂-Abscheidung aus dem Ozean mit geologischer Speicherung (DOCCS)



Beschreibung:

DOCCS (Direct Ocean Carbon Capture and Storage) bezeichnet ein Verfahren, bei dem CO₂ mithilfe elektrochemischer Prozesse direkt aus Meerwasser entfernt und anschließend dauerhaft in geologischen Formationen gespeichert wird. Es kombiniert die natürliche CO₂-Aufnahmefähigkeit des Ozeans mit technischer Speicherung, um der Atmosphäre langfristig CO₂ zu entziehen.

Entnahmepotenzial: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Reduktionspotenzial: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Dauerhaftigkeit: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Störanfälligkeit: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Nachweisbarkeit (MRV): keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Ökologische Co-Benefits: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Soziale Co-Benefits: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Reifegrad: gering

Konzeptionelle Grundlagenforschung (TRL 1–2). Überlegungen basieren bislang überwiegend auf theoretischen und modellierten Annahmen.

Kosten pro Tonne: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Ressourcenbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Infrastrukturbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Regulatorische Hürden: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien



Technologie: Alkalinitätserhöhung im Ozean

Beschreibung:

Die Alkalinitätserhöhung im Ozean ist eine CDR-Methode, bei der basische Substanzen wie Kalk oder Silikate gezielt ins Meer eingebracht werden, um die Fähigkeit des Ozeans zur CO₂-Aufnahme zu erhöhen (s. auch Beschleunigte Gesteinsverwitterung). Die eingebrachten Stoffe binden Säure im Meerwasser, wirken so der Ozeanversauerung entgegen und ermöglichen die Aufnahme weiterer Mengen CO₂ aus der Atmosphäre. Neben der Einbringung mineralischer Stoffe gibt es auch elektrochemische Verfahren.

Entnahmepotenzial: hoch

Zwischen 1 und 100 Gt CO₂ pro Jahr bei großen Unsicherheiten. Der Technologie wird grundsätzlich enormes Entnahmepotenzial zugeschrieben, das stark von der Verfügbarkeit der erforderlichen Ressourcen abhängt. Gleichzeitig können negative Auswirkungen auf die natürlichen Entnahmeprozesse der Meere das Potenzial beschränken.

Reduktionspotenzial: gering

Potenziell steigende Emissionen aus dem Bergbau, für den Transport und die Ausbringung auf dem Meer müssen mit einkalkuliert werden.

Dauerhaftigkeit: hoch

Über Jahrtausende bis Jahrzehntausende. Die Mineralisierung führt potenziell zu stabilen chemischen Verbindungen.

Störanfälligkeit: gering

Mineralische Kohlenstoffverbindungen gelten als sehr stabil und wenig störanfällig.

Nachweisbarkeit (MRV): gering

Bislang nicht vorhanden und wenig Entwicklung, u. a. durch niedrigen Reifegrad und die Herausforderungen bei der Abgrenzung von der natürlichen Aufnahmeleistung der Ozeane.

Ökologische Co-Benefits: K.-o.-Kriterium

- Co-Benefits: Kann Chancen durch erhöhte Biomasseproduktion bieten (je nach Gesteinsart) und der fortschreitenden Versauerung der Meere entgegenwirken und damit potenziell positive Effekte auf Biodiversität im Meer haben.
- Risiken: Erhebliche Veränderungen und Umwandlung von marinen Ökosystemen möglich durch starke und schnelle Veränderungen des PH-Werts sowie potenziell toxische Mineralien. Zudem negative Auswirkungen des Bergbaus an Land auf Wasser, Böden und Luftqualität sowie Gefahr der Landnutzungsänderung für landbasierte Ökosysteme.

Soziale Co-Benefits: moderat

- Co-Benefits: potenzielle Beschäftigungsmöglichkeiten und Einnahmequellen durch intensivierten Bergbau bei Einbindung lokaler Akteure.
- Risiken: mögliche lokale Gesundheitsrisiken durch Lärm- und Luftverschmutzung, ggf. auch Schwermetallkontamination in Lebensmitteln. Zudem potenzielle Flächennutzungskonflikte mit lokaler Bevölkerung und Auswirkungen auf Nahrungsketten im Meer komplex und unsicher.

Reifegrad: gering

Konzeptionelle Grundlagenforschung (TRL 1–2) mit wenig experimentellen Feldstudien. Einzelne Verfahren können abweichen und leicht höhere TRLs (3–4) aufweisen.

Kosten pro Tonne: moderat

Zwischen ca. 100 und 300 €/t CO₂, basiert bislang allerdings auf theoretischen Schätzungen und Annahmen.

Ressourcenbedarf: hoch

Indirekter Flächenbedarf durch signifikanten Materialinput von geeigneten Mineralien sowie erhöhter Wassereinsatz für intensiviert Bergbauaktivitäten, zudem erheblicher Bedarf an Wind- und Solarenergie (u. a. für Abbau und Mahlung).

Infrastrukturbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Regulatorische Hürden: hoch

Erhebliche internationale regulatorische Hürden (v. a. durch Londoner Konvention und Protokoll).



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien

Technologie: Ozeandüngung

Beschreibung:

Ozeandüngung beschreibt die gezielte Zufuhr von Mikro- und Makronährstoffen – meist Eisen (Mikro) oder Phosphor (Makro) – in nährstoffarmen Meeresregionen, um das Wachstum von Phytoplankton anzuregen. Durch Photosynthese bindet das Plankton CO₂, das im Wasser gelöst ist und dort in einem ständigen Austausch mit der Atmosphäre steht. Ein Teil der Biomasse sinkt anschließend in tiefere Ozeanschichten, wo die Biomasse aufgrund des geringeren Sauerstoffgehalts langsamer zersetzt wird und der Kohlenstoff länger gebunden wird (s. auch Versenkung von Biomasse im Meer).

Entnahmepotenzial: hoch

Bis zu 1–3 Gt CO₂ pro Jahr für Mikronährstoffe (Eisen) und bis zu 5,5 Gt CO₂ pro Jahr für Makronährstoffe (Stickstoff und Phosphor). Das Potenzial ist abhängig davon, wie viel Kohlenstoff tatsächlich in die Tiefsee gelangt sowie von der Region und den lokalen Gegebenheiten, insb. Verfügbarkeit anderer Nährstoffe, Licht und Temperatur.

Reduktionspotenzial: gering

Es gibt begrenzte Hinweise auf erhöhte Konzentrationen anderer Treibhausgase wie Methan und Lachgas während der Zersetzung der absinkenden Partikel.

Dauerhaftigkeit: moderat

Theoretisch Jahrhunderte bis Jahrtausende, Zersetzung der Biomasse soll in der sauerstoffarmen Tiefsee verlangsamt werden. Die tatsächliche Dauer gilt allerdings wissenschaftlich als sehr unsicher.

Störanfälligkeit: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Nachweisbarkeit (MRV): gering

Bislang nicht vorhanden und erhebliche Herausforderung.

Ökologische Co-Benefits: K.-o.-Kriterium

- Co-Benefits: unbekannt
- Risiken: Es besteht ein hohes Risikoprofil für marine Ökosysteme. Eine großflächige Anwendung könnte die Versauerung in tieferen Wasserschichten verstärken und in oberen Wasserschichten verringern und zudem zu Sauerstoffmangel an der Oberfläche führen. Es besteht das Risiko der Destabilisierung und Umstrukturierung des gesamten Ökosystems und der Nahrungsketten.

Soziale Co-Benefits: gering

- Co-Benefits und Risiken: Auswirkungen auf Nahrungsketten im Meer komplex und sehr unsicher. Giftige Algenblüten können sich zudem auf die menschliche Gesundheit auswirken.

Reifegrad: gering

Konzeptionelle Grundlagenforschung (TRL 1–2). Überlegungen basieren bislang überwiegend auf theoretischen und modellierten Annahmen.

Kosten pro Tonne: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Ressourcenbedarf: hoch

Enormer Materialinput von Mikro- (Eisen) und Makronährstoffen (Stickstoff, Phosphor) erforderlich.

Infrastrukturbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Regulatorische Hürden: hoch

Erhebliche internationale regulatorische Hürden (v. a. durch Londoner Konvention und Protokoll).



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58



Anhang B: Beschreibung und Charakterisierung der CDR-Technologien



Technologie: Künstlicher Auftrieb

Beschreibung:

Beim künstlichen Auftrieb wird nährstoffreiches Wasser aus tieferen Ozeanschichten gezielt technisch an die Oberfläche gepumpt, um dort das Algenwachstum zu fördern. Diese nehmen beim Wachstum CO₂ auf. Ein Teil der Biomasse sinkt anschließend in tiefere Wasserschichten und bindet Kohlenstoff in tiefen Ozeansedimenten. Ziel ist es, die natürliche biologische Kohlenstoffpumpe technisch zu verstärken.

Entnahmepotenzial: hoch

Theoretisch bis zu 10 Gt CO₂ pro Jahr. Um das Potenzial zu erreichen, müssten die Systeme allerdings in massivem Umfang eingesetzt werden (über 50 % der Meeresoberfläche für eine maximale Entnahmerate).

Reduktionspotenzial: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Dauerhaftigkeit: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Störanfälligkeit: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Nachweisbarkeit (MRV): keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Ökologische Co-Benefits: K.-o.-Kriterium

- Co-Benefits: unbekannt
- Risiken: erhebliche Umwälzungen von Wassermassen und Nährstoffeinträgen, daher hohe Gefährdung von marinen Ökosystemen. Da Tiefenwasser deutlich kälter ist als Oberflächenwasser, könnte künstlicher Auftrieb in großem Maßstab die Erdoberfläche um mehrere Grad abkühlen. Dieser Kühlungseffekt würde jedoch nachlassen, sobald sich das Tiefenwasser erwärmt, und sich umkehren, wenn das Pumpen eingestellt wird, was zu einer raschen Erwärmung führen würde. Darüber hinaus würde die Abkühlung auch die atmosphärische Zirkulation und Niederschlagsmuster verändern.

Soziale Co-Benefits: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Reifegrad: gering

Konzeptionelle Grundlagenforschung (TRL 1–2). Überlegungen basieren bislang überwiegend auf theoretischen und modellierten Annahmen.

Kosten pro Tonne: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Ressourcenbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Infrastrukturbedarf: keine Angabe

Nicht ausreichend untersucht in den ausgewählten Quellen.

Regulatorische Hürden: hoch

Erhebliche internationale regulatorische Hürden (v. a. durch Londoner Konvention und Protokoll).



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58



Anhang C: Wissenschaftliche Quellen

Die Beschreibung der Technologien stützt sich auf eine fundierte wissenschaftliche Grundlage, basierend auf etablierten und international anerkannten wissenschaftlichen Berichten, mit dem Ziel, eine transparente, nachvollziehbare und fachlich belastbare Bewertung zu ermöglichen. Als zentrale Datenbasis für die Charakterisierung wurden ausschließlich etablierte wissenschaftliche Reviews und keine Primärstudien genutzt.

Dazu zählen:

- » der Beitrag der Arbeitsgruppe III zum Sechsten Sachstandsbericht des IPCC (AR6) (2022)³⁵
- » die zweite Edition des The State of CDR Report (2024)³⁶
- » der UN Emissions Gap Report (2023)³⁷
- » der CDR-Bericht des Europäischen Wissenschaftlichen Beirats zum Klimawandel (European Scientific Advisory Board on Climate Change, ESABCC) (2025)³⁸
- » die folgenden Factsheets und Berichte der deutschen Forschungskonsortien CDRterra und CDRmare:
 - › CO₂-Entnahmemethoden an Land – Überblick I: Die Kohlenstoffspeicherung unserer Böden steigern (2025)³⁹
 - › CO₂-Entnahmemethoden an Land – Überblick II: Neue technische Verfahren zur CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre (2025)⁴⁰
 - › CO₂-Entnahmemethoden an Land – Überblick III: Mit der Kraft der Pflanzen: Biologische Verfahren zur CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre (2025)⁴¹
 - › Bewertungsrahmen für marine CO₂-Entnahme und Synthese des aktuellen Wissensstandes (2024)
 - › Exploring Site-Specific Carbon Dioxide Removal Options With Storage or Sequestration in the Marine Environment – The 10 Mt CO₂ yr⁻¹ Removal Challenge for Germany (2025)⁴²

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Glossar

BVCM (Beyond Value Chain Mitigation)

Klimaschutzmaßnahmen außerhalb der eigenen Wertschöpfungskette, die zusätzlich zur Emissionsreduktion innerhalb der Wertschöpfungskette finanziert werden. Zentraler Ansatz zur Übernahme von zusätzlicher finanzieller Verantwortung für weiterhin anfallende Emissionen (OER).

CCS (Carbon Capture and Storage)

Technisches Verfahren aus der Industrie oder Energieerzeugung, bei dem CO₂ aus fossilen Quellen abgeschieden, transportiert und dauerhaft isoliert gespeichert wird. Gilt als Maßnahme der Emissionsreduktion, aber nicht als CDR, da die CO₂-Quelle fossil und nicht atmosphärisch ist.

CCU (Carbon Capture and Utilization)

Technisches Verfahren aus der Industrie oder Energieerzeugung, bei dem CO₂ aus fossilen Quellen zunächst abgeschieden und anschließend als Rohstoff für Produkte (z. B. Kunst- oder Treibstoffe) genutzt wird. Die Klimawirkung hängt von der Speicherdauer im Produkt, dem ersetzten Produkt und der CO₂-Quelle ab. Aufgrund meist fossilen Ursprungs des CO₂ und seiner kurzen Speicherdauer nicht als CDR anerkannt.

CDR (Carbon Dioxide Removal)/CO₂-Entnahme

Gezielte menschliche Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre mit anschließender dauerhafter Speicherung in biologischen, geologischen oder langlebigen Produkten.

Chain-of-Custody-Modelle

Verfahren zur Kontrolle und Steuerung von Stoffströmen sowie zur Übertragung ihrer spezifischen (Umwelt-)Attribute durch jeden Schritt der Lieferkette.⁴³ CoC-Modelle unterscheiden sich u. a. darin, welchen Link sie zwischen zertifiziertem Attribut und Material herstellen: Während CoC-Modelle wie Identity Preserved volle physische Rückverfolgbarkeit garantieren, stellen Book-and-Claim-Ansätze einen rein administrativen Link her.

CO₂-(Entnahme-)Zertifikat/Carbon (Removal) Credit

Eine Emissionseinheit, die von einem CO₂-Zertifizierungsprogramm ausgegeben wird und das Ergebnis einer Treibhausgasminderung (in der Regel eine metrische Tonne CO₂e) aus einer Emissionsreduktion, einer vermiedenen Emission oder einer Entnahme darstellt. CO₂-Zertifikate sind eindeutig serialisiert und werden mithilfe eines elektronischen Registers ausgegeben, nachverfolgt und stillgelegt. CO₂-Entnahme-Zertifikate (Carbon Removal Credits) sind Zertifikate, die eine Tonne CO₂e repräsentieren, die der Atmosphäre entnommen und dauerhaft gespeichert wurden.⁴⁴

CO₂e (CO₂-Äquivalente)

Metrik zur Vergleichbarkeit der Klimawirkung verschiedener Treibhausgase (THG). Sie gibt an, welche Menge CO₂ über einen festgelegten Zeitraum den gleichen Effekt auf die Erderwärmung hätte wie die emittierte Menge eines anderen Treibhausgases.

Commodity Certificates

Zertifikate, die die (Umwelt-)Attribute physischer Rohstoffe (wie Kaffee, Stahl, Soja) ausweisen. Sie sind eine Untergruppe von Environmental Attribute Certificates (EACs).

Contribution Modell

Ein strategischer Ansatz zur Finanzierung von Klimaschutzmaßnahmen außerhalb der eigenen Wertschöpfungskette (BVCM). Im Vordergrund stehen die Belegung weiterhin anfallender CO₂-Emissionen mit einem CO₂-Preis (Money for Ton) und die Finanzierung eines Portfolios von Klimaschutzprojekten. Carbon Credits können Teil dieses Portfolios sein, werden aber nicht 1:1 kompensatorisch verrechnet (Ton for Ton).

Dauerhaftigkeit

Der Zeitraum, über den entnommener Kohlenstoff sicher gespeichert bleibt, ohne in die Atmosphäre zurückzugelangen. Die Neutralisierung von unvermeidbaren Residualemissionen erfordert eine Dauerhaftigkeit von mehreren Jahrhunderten bis idealerweise Jahrtausenden.

EAC (Environmental Attribute Certificate)

Eine Gruppe von Zertifikaten, die den Nachweis über spezifische Umweltattribute von Materialien und Gütern (z. B. Rohstoffe, Energieträger) erbringen und so dem Käufer erlauben, bestimmte (Umwelt-)Claims zu untermauern. Im Klimabereich weisen diese Zertifikate Emissionsprofile aus und können unter bestimmten Voraussetzungen z. B. dem Nachweis eines „Net Zero aligned“-Status dienen.

GHGP LSRS (Greenhouse Gas Protocol Land Sector and Removals Standard)

Internationaler Bilanzierungsstandard für Emissionen und CO₂-Entnahmen aus der Landnutzung und Landwirtschaft.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)

Der „Weltklimarat“ der Vereinten Nationen. Er bewertet den Stand der Klimaforschung und liefert die wissenschaftliche Basis für globale Klimaziele (wie das Pariser Klimaabkommen) und Standards wie die der SBTi.

Landsektor/FLAG (Forest, Land and Agriculture)

Unternehmen der Land- und Forstwirtschaft zur Erzeugung, Weiterverarbeitung und zum Vertrieb land- und forstwirtschaftlicher Erzeugnisse. Unternehmen, die in signifikantem Maße Landnutzung und Landnutzungsänderung betreiben, verfolgen spezifische FLAG-Ziele zur Reduktion landbasierter Emissionen und zum Ausbau biogener CO₂-Entnahmen innerhalb ihrer Wertschöpfungsketten.

MRV (Monitoring, Reporting, Verification)

System zur systematischen Messung, Berichterstattung und unabhängigen Überprüfung von Emissionsreduktionen oder CO₂-Entnahmen. Es bildet die Grundlage für die Glaubwürdigkeit und Nachweisbarkeit.



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Glossar

Netto-negativ

Temporärer Zustand, in dem die erzielten CO₂-Entnahmen die verbleibenden anthropogenen Emissionen übersteigen. Global zur Absenkung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre und zur Rückkehr zu 1,5 °C insbesondere in „Overshoot“-Szenarien erforderlich.

Net Zero/Netto-Null

Temporärer Zustand, in dem anthropogene Treibhausgasemissionen durch Reduktionen minimiert und unvermeidbare Residualemissionen durch die Neutralisierung ausgeglichen sind. Global bis Mitte des Jahrhunderts zur langfristigen Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre und Einhaltung der 1,5 °C-Grenze bis Ende des Jahrhunderts erforderlich.

Neutralisierung

Ausgleich unvermeidbarer Residualemissionen durch dauerhafte CO₂-Entnahme. Im Unterschied zur Kompensation geht es um die physikalische Neutralisierung der Klimawirkung, nicht allein um die bilanzielle.

Offtake- bzw. Pre-Purchasing Vereinbarung

Offtake: Vertragliche Verpflichtung zur Abnahme einer zukünftigen Produktionsmenge (Zahlung meist bei Lieferung), z. B. von CO₂-Zertifikaten aus Removal-Projekten.
Pre-Purchasing: Vorauszahlung für eine Ware/Dienstleistung vor deren eigentlicher Produktion, oft zur Finanzierung der Projektinitialisierung, z. B. zum Anschub von Removal-Projekten.

Overshoot

Vorübergehendes Überschreiten der 1,5 °C-Grenze mit späterer Absenkung des Emissionsniveaus. Solche Szenarien erfordern höhere Mengen an CDR zur langfristigen Absenkung der THG-Konzentration in der Atmosphäre.

Reduktionspfad

Wissenschaftlich modellierter Verlauf der Emissionsreduktion bis Net Zero. Bestimmt, wie schnell Emissionen sinken müssen und welches Niveau an Residualemissionen verbleibt.

Residualemissionen

Emissionen, die trotz der Umsetzung aller verfügbaren Reduktionsmaßnahmen nicht vollständig eliminiert werden können und die zur Erreichung von Net Zero durch eine entsprechende Menge an CO₂-Entnahmen neutralisiert werden müssen. Im Kontext wissenschaftsbasierter Ziele beziehen sich Residualemissionen auf die Scope-1-, -2- und -3-Emissionen eines Unternehmens, die im Zieljahr für Net Zero verbleiben.⁴⁵ Ihr vertretbares Niveau leitet sich aus wissenschaftsbasierten Reduktionspfaden ab und verändert sich z. B. durch technologischen Fortschritt.

SBTi (Science Based Targets initiative)

Internationale Initiative zur Entwicklung, Validierung und Überprüfung wissenschaftsbasierter Klimaziele für Unternehmen. Operationalisiert u. a. durch Corporate Net-Zero Standard, FLAG Guidance und andere sektorspezifische Standards.

SBTi CNZS (Corporate Net-Zero Standard)

Das international führende Rahmenwerk der Science Based Targets initiative, das Unternehmen klare Kriterien zur Entwicklung, Validierung und Überprüfung wissenschaftsbasierter Net-Zero-Ziele vorgibt inklusive Anforderungen an Neutralisierung und OER.

SBTi FLAG Guidance

Spezifischer Leitfaden der SBTi zur Setzung von Zielen im Landsektor, um landbasierte Emissionen und Entnahmen systematisch in unternehmerische Klimaziele zu integrieren und getrennt von industrie- bzw. energiebedingten Emissionen zu adressieren.

Transitionsplan(-ung)

Ein Transitionsplan ist ein strategisches und operatives Steuerungsinstrument eines Unternehmens, das beschreibt, wie und mit welchen Maßnahmen ein Wandel hin zu einer Net-Zero-kompatiblen und nachhaltigen Wirtschaftsweise umgesetzt wird. Er konkretisiert nicht nur Ziele und Maßnahmen, sondern auch Ressourcen, Abhängigkeiten und andere Aspekte zur Planung, Umsetzung und Überwachung der Transformation. Anforderungen an Transformationspläne sind Gegenstand sowohl von Regulierung als auch internationaler Standards.

Weiterhin anfallende Emissionen/Ongoing Emissions

Treibhausgasemissionen eines Unternehmens über alle Scopes hinweg, die bis zum Erreichen des Net-Zero-Ziels weiterhin in die Atmosphäre emittiert werden.

Wiederfreisetzung/Reversal

Die ungewollte Freisetzung von bereits entnommenem und gespeichertem CO₂ zurück in die Atmosphäre, beispielsweise durch Waldbrände, Schädlinge oder geologische Leckagen, was die Dauerhaftigkeit der Entnahme gefährdet.

Zusätzliche Verantwortung für weiterhin anfallende Emissionen (Ongoing Emissions Responsibility, OER)

Konzept, nach dem Unternehmen zusätzliche finanzielle Verantwortung für weiterhin anfallende Emissionen übernehmen. Im SBTi CNZS V1 als Ermutigung zu BVCM-Maßnahmen eingeführt, wurde dies im CNZS V2 zu einem Anerkennungsprogramm für Klimabeiträge weiterentwickelt und breiter gefasst.

Zusätzlichkeit

Kernkriterium für Klimaschutzprojekte: Eine Maßnahme ist zusätzlich, wenn die Reduktion oder Entnahme ohne die gezielte Intervention (z. B. Finanzierung durch Zertifikatsverkauf) nicht stattgefunden hätte.



Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transformationsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Referenzen

- UNFCCC (2015): Übereinkommen von Paris. Artikel 2, Absatz 1 (a). [[deutsche Übersetzung](#)].
- IPCC (2018): [Global Warming of 1.5°C. Summary for Policymakers](#), S. 10.
- IPCC (2018): [Global Warming of 1.5°C. Summary for Policymakers](#), S. 12.
- Forster et al. (2025): [Indicators of Global Climate Change 2024: annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence](#).
- IPCC (2022): [Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change](#), S. 1796.
- WWF (2018): [Carbon Dioxide Removal, Including Carbon Sequestration in Natural Systems. Position Paper](#), S. 3.
- Jones et al. (2026): [IPBES Business and Biodiversity Assessment: Summary for Policymakers](#).
- Smith et al. (2024): [The State of CDR Report. 2nd Edition](#), S. 20.
- WWF (2023): [WWF-Leitlinien für den Einsatz von Carbon Capture and Storage \(CCS\) in Deutschland. Industriepolitik und Meeresschutz](#).
- IPCC (2023): [Climate Change 2023. Synthesis Report. Summary for Policymakers](#), S. 20.
- IPCC (2022): [Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers](#), S. 40.
- Diese Auswahl an nachhaltigkeitsorientierten Szenarien durch den State of CDR Report (2nd Edition) verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz: Diese Szenarien beschränken sich nicht auf die reine Emissionsreduktion, sondern sind so konzipiert, dass sie synergetisch zu einer Vielzahl breiterer Nachhaltigkeitsziele beitragen. Erreicht wird dies primär durch eine forcierte sektorale Transformation, veränderte Ernährungsgewohnheiten sowie eine gezielte Nachfragereduktion, um Residualemissionen konsequent zu minimieren.
- Smith et al. (2024): [The State of CDR Report. 2nd Edition](#), S. 9.
- CDRterra (2025): [Kohlendioxidentnahmeverfahren an Land – wie sie funktionieren und warum wir sie brauchen, um unsere Klimaziele zu erreichen](#), S. 3.
- Smith et al. (2024): [The State of CDR Report. 2nd Edition](#), S. 2 f.
- Europäische Kommission (2021). [Questions and Answers: European Green Deal: new EU Forest Strategy for 2030](#).
- WWF (2023): [WWF-Leitlinien für den Einsatz von Carbon Capture and Storage \(CCS\) in Deutschland. Industriepolitik und Meeresschutz](#).
- WWF (2025): [CO₂-Entnahme. Policy Papier](#), S. 9.
- SBTi (2025a): [Corporate Net-Zero Standard. Version 2.0. Draft for Second Public Consultation](#).
- SBTi (2025b): [Net Zero Standard V2. One Page Summary](#).
- SBTi (2026): [Forest, Land and Agriculture Science-Based Target-Setting Guidance. Version 1.2](#).
- Europäische Kommission (2026): [COMMISSION DELEGATED REGULATION \(EU\) .../... supplementing Regulation \(EU\) 2024/3012 of the European Parliament and of the Council by establishing the certification methodologies for permanent carbon removals activities](#), S. 6.
- WWF (2025): [CO₂-Entnahme. Policy Papier](#), S. 10.
- Viele CDR-Optionen scheiden für die Neutralisierung aus, weil sie entweder keine ausreichende Dauerhaftigkeit oder keine robuste MRV-Grundlage bieten. Naturbasierte Maßnahmen wie die (Wieder-)Aufforstung oder die Kohlenstoffspeicherung in Böden sind zwar kurzfristig wirksam, jedoch häufig mit relevanten Störungsrisiken verbunden (z. B. Feuer, Dürre, Schädlingsbefall, Nutzungskonflikte) und daher nicht für die strikte Neutralisierung geeignet. Ähnliches gilt für CDR-Ansätze mit schwer quantifizierbarer Wirkungslogik oder hoher Unsicherheit in der Attribution, bei denen die Tonne-für-Tonne-Wirkung nicht ausreichend belastbar nachgewiesen werden kann.
- SBTi (2026): [Corporate Net-Zero Standard. Version 2.0](#).
- SBTi (2025a): [Corporate Net-Zero Standard. Version 2.0. Draft for Second Public Consultation](#), S. 39 ff.
- WWF (2022): [Fit für Paris. Ein Nachfolgemodell für die CO₂-Kompensation: wie Unternehmen zusätzlichen Klimaschutz finanzieren sollten](#).
- Jones et al. (2026): [IPBES Business and Biodiversity Assessment: Summary for Policymakers](#).
- SBTi (2026): [Corporate Net-Zero Standard. Version 2.0](#).
- SBTi (2022): [Carbon removals in Forest, Land and Agriculture \(FLAG\) Pathways](#). Blog.
- Greenhouse Gas Protocol (2026): [Land Sector and Removals Standard. Version 1.0. Agriculture and CO₂ removal technologies](#), S. 64 ff.
- SBTi (2026): [Forest, Land and Agriculture Science-Based Target-Setting Guidance. Version 1.2](#), S. 34 f.
- Greenhouse Gas Protocol (2026): [Land Sector and Removals Standard. Version 1.0. Agriculture and CO₂ removal technologies](#), S. 64 ff.
- SBTi (2025a): [Corporate Net Zero Standard. Version 2.0. Draft for Second Public Consultation](#).
- IPCC (2022): [Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change](#).
- Smith et al. (2024): [The State of CDR Report. 2nd Edition](#).
- UN Environment Programme (2023): [Emissions Gap Report 2023: Broken Record – Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions \(again\)](#).
- European Scientific Advisory Board on Climate Change (2025): [Scaling up carbon dioxide removals. Recommendations for navigating opportunities and risks in the EU](#).
- Bodirsky et al. (2025a): [CO₂-Entnahmeverfahren an Land – Überblick I: Die Kohlenstoffspeicherung unserer Böden steigern](#).
- Bodirsky et al. (2025b): [CO₂-Entnahmeverfahren an Land – Überblick II: Neue technische Verfahren zur CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre](#).
- Bodirsky et al. (2025c): [CO₂-Entnahmeverfahren an Land – Überblick III: Mit der Kraft der Pflanzen: Biologische Verfahren zur CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre](#).
- Yao et al. (2025): [Exploring Site-Specific Carbon Dioxide Removal Options With Storage or Sequestration in the Marine Environment –The 10 Mt CO₂ yr⁻¹ Removal Challenge for Germany](#).
- ISEAL (2025). [Chain of custody models and definitions v2](#), S. 2.
- WWF (2024). [WWF Network Position on Carbon Finance](#), S. 6.
- WWF (2024). [WWF Network Position on Carbon Finance](#), S. 6.



Impressum

Zusammenfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 CDR verstehen: Relevanz und Potenziale	7
2.1 Was ist CDR (nicht)?	7
2.2 Warum braucht es CDR?	9
2.3 Wie unterscheiden sich CDR-Technologien?	10
2.4 Welche Leitplanken braucht CDR?	12
3 CDR verankern: Strategie und Rollen	14
3.1 Welche Rolle hat CDR im Transitionsplan?	14
3.2 Rolle A: Neutralisierung	17
3.3 Rolle B: Zusätzliche Verantwortung	19
3.4 Rolle C: FLAG-Zielerreichung	21
4 CDR implementieren: Portfolio und Wirksamkeit	23
4.1 Standortbestimmung	24
4.2 Portfolio-Design	25
4.3 Instrumente	26
4.4 Qualitätssicherung	27
4.5 Steuerung	28
4.6 Marktentwicklung	29
5 Ausblick	30
Anhang	31
Glossar	55
Referenzen	57
Impressum	58

Herausgeberin	WWF Deutschland (Stiftung bürgerlichen Rechts, vertreten durch die Vorständin Meike Rothschädl), Reinhardtstraße 18, D-10117 Berlin
Veröffentlichung	Juni 2026
Autor:innen	Benjamin Kottmeyer, Sebastian Öttl (beide WWF Deutschland) in Kooperation mit: Sacha Rueff, Lene Petersen (beide WWF Schweiz), Lara Breitmoser (WWF Österreich), Julia Teppe, Paul Grot, Vanessa Bolmer, Julika Tribukait (alle WWF Deutschland)
Koordination	Benjamin Kottmeyer
Kontakt	WWF Deutschland: benjamin.kottmeyer@wwf.de WWF Schweiz: sacha.rueff@wwf.ch und lene.petersen@wwf.ch WWF Österreich: lara.breitmoser@wwf.at
Gestaltung	Anna Risch (post@annarisch.de)
Bildnachweis	Rafael Kellermann/Unsplash (Titel)

Herzlichen Dank an alle Expertinnen und Experten des WWF Deutschland, Schweiz und Österreich für ihren Beitrag zu den verschiedenen Versionen dieser Veröffentlichung.

© 2026 WWF Deutschland

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers.