

Blickpunkt Nachhaltigkeit

18. März 2024 | LBBW Research | Nachhaltigkeit

CO₂-Speicherung: Der Weg in die Klimaneutralität

Auf einen Blick

- Ohne CCUS (Carbon Capture for Utilization and Storage) wird es nicht möglich sein, energieintensive Industriebereiche zu dekarbonisieren.
- Die Technologie ist für den Einsatz im großen Maßstab noch nicht weit genug entwickelt.
- Will Europa bis 2050 klimaneutral sein, reichen die bisher geplanten Kapazitäten für das Abscheiden und Speichern von CO₂ längst nicht aus.

Sabrina Kremer
Senior Sustainability Analyst
+49 711 127-74 551
sabrina.kremer@LBBW.de

Gregor Mas
Research Associate
gregor.mas@LBBW.de

LBBWResearch@LBBW.de

Erstellt am:
18.03.2024 11:53

Der Schatten der Zukunft schafft Investitionsdruck

Um bis 2050 eine klimaneutrale Welt zu schaffen, müssen die CO₂-Emissionen massiv sinken. Neben Effizienzsteigerungen, der Elektrifizierung von Verkehr und Wärmeerzeugung und dem Ausbau erneuerbarer Energien werden dafür Carbon-Capture-Technologien unabdingbar sein. Sie scheiden CO₂ ab, das in der Atmosphäre enthalten ist oder bei industriellen Prozessen entsteht. Anschließend lässt sich das Kohlendioxid weiterverwenden oder permanent speichern.

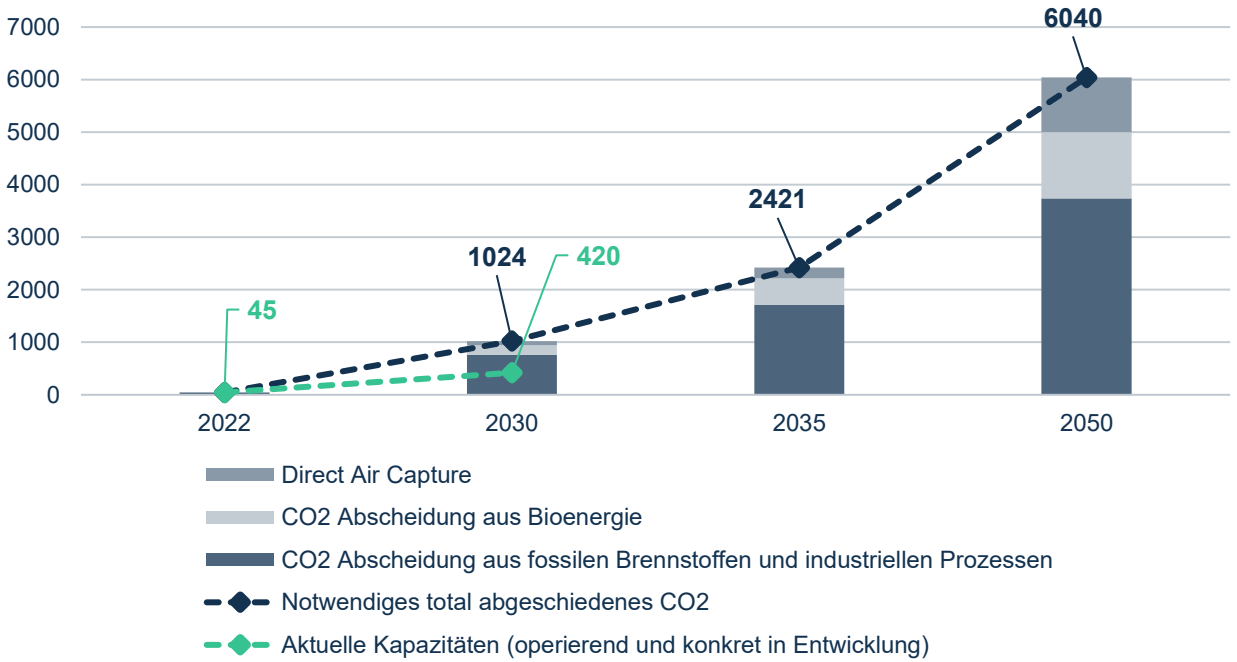
Aktuell scheiden weltweit 40 Pilotanlagen jährlich 46 Mio. Tonnen CO_{2e} ab. Bis 2030 soll dieser Wert auf 420 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr steigen. Das Problem: Um auf dem Pfad des Net-Zero-Emissions-Szenarios (NZE) der Internationalen Energieagentur zu bleiben, bräuchte es viel mehr als das. NZE bedeutet Klimaneutralität bis 2050, was einer Neuerfindung der Industrie gleichkommt. Statt 420 Mio. Tonnen müsste die abgeschiedene Menge bis 2030 jährlich 1.200 Mio. Tonnen CO₂ betragen. Bis 2050 wären es dann 6.200 Mio. Tonnen CO₂ jährlich, oder ein

CO₂-Äquivalente (CO_{2e})
Treibhausgase wirken sich unterschiedlich stark auf das Klima aus. Um deren Wirkung vergleichen zu können wird die Einheit CO_{2e} verwendet. Im folgenden Text verwenden wir stellvertretend CO₂.

Anstieg um das 150-fache der aktuell bis 2030 geplanten Kapazität. Doch ist das überhaupt möglich? Wie bereit ist die Technologie?

Carbon Capture muss global um das 150-Fache steigen

NZE-Szenario (Mio. Tonnen CO₂/Jahr)



Quelle: International Energy Agency, LBBW Research

Erst ein Drittel der nötigen Kapazitäten bis 2030 ist in Projekt-Pipeline

Der neue Nutzungszyklus

Carbon Capture, Utilization and Storage (kurz CCUS) beschreibt Technologien, mit denen sich Kohlendioxid abscheiden, transportieren und anschließend nutzen oder speichern lässt. Durch das Einfangen und Weiterverwenden der Gase entsteht ein Nutzungszyklus, und es gelangen keine zusätzlichen Emissionen in die Atmosphäre. Insbesondere industrielle Prozesse, in denen Treibhausgasemissionen nach aktuellem Stand der Technologie schwer oder gar nicht vermeidbar sind, stehen dabei im Fokus. So kann man Industriezweige wie die Zement- und Kalkproduktion, die Abfallverbrennung und die Grundstoffchemie zukunftsfähig transformieren.

Neben der Abscheidung im industriellen Kontext ist es auch möglich, CO₂ aus der Atmosphäre zu isolieren (Direct Air Capture). Hier entstehen Negativemissionen, da keine vorgeschaltete CO₂-Emission stattfindet und de facto der CO₂-Bestand in der Atmosphäre verringert wird.



CCU
CO₂ Utilization

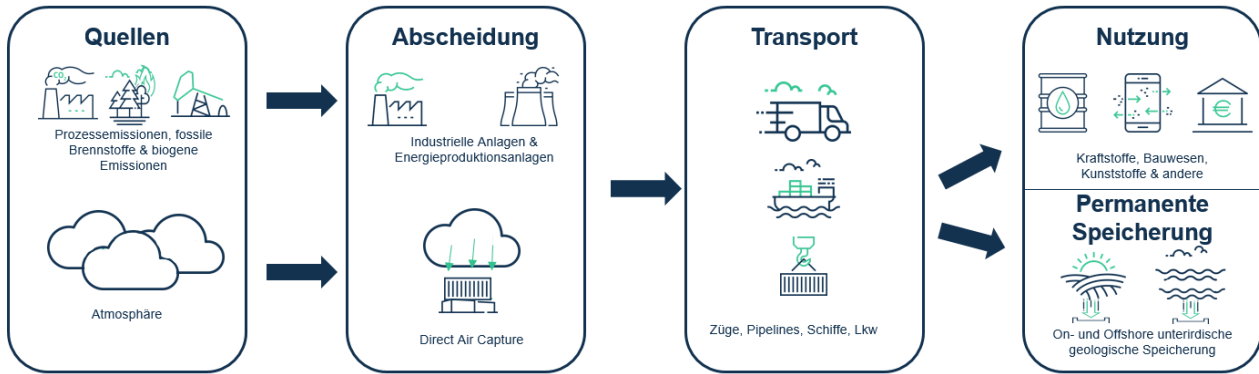
CCS
CO₂ Transport
and Storage

DAC
Direct Air Capture

Auch wenn das auf den ersten Blick einfacher erscheint als die Vermeidung von Kohlendioxid, hat das Verfahren Nachteile: Denn sämtliche CCUS-Technologien sind energieaufwendig und teuer. Kosten entstehen sowohl beim konkreten Prozess des Abscheidens als auch beim Transport und der Speicherung. Um den Nutzungszyklus möglichst effizient und sicher zu gestalten, fließt das CO₂ über Pipelines in Speicherstätten oder zur Weiterverwendung. Endlager sind im Meer (offshore) und unterirdisch geplant. In tiefen geologischen Gesteinsformationen können die Gase kaum entweichen.

BECCS
Bioenergy with carbon capture

Vereinfachte Darstellung CCUS



Quelle: LBBW Research

„Eine CO₂-Kreislaufwirtschaft [...] ist dabei zentral für die erforderliche, tiefgreifende Transformation der Industrie zur Klimaneutralität“

Gemeinsames Positionspapier der Industrieverbände (u.A. BV Kalk, BVEG, VCI)

Der Stand der Technologie

CCUS-Technologien stecken noch in den Kinderschuhen. Um die Marktreife zu erreichen, sind in den nächsten Jahrzehnten noch einige Innovationen und Durchbrüche notwendig. Noch sind die Kosten der Technologie zu hoch und die Effizienz der Ergebnisse zu niedrig. Bei aktuellen Prognosen und geplanten Investitionen bleiben die globalen CCUS-Kapazitäten bis 2030 rund zwei Drittel unter dem benötigten Niveau. Das liegt neben der mangelnden Effizienz der Technologien auch an bürokratischen Hemmnissen und juristischen Unsicherheiten.

So stieß das Thema CCUS in Deutschland bis vor Kurzem auf Ablehnung, weil die Bedenken der Öffentlichkeit zu groß waren. Obwohl sich daran grundlegend nichts geändert hat, stimmen selbst Umweltorganisationen wie der WWF Deutschland inzwischen – unter bestimmten Voraussetzungen – einer Speicherung zu. Denn ohne CCUS werden wir das Klimaziel 2050 beziehungsweise 2045 nicht erreichen. Erst seit die EU Anfang Februar eine Industrial-Carbon-Management-Strategie veröffentlicht hat, arbeitet die Bundesregierung eine nationale Strategie aus. Zwar hinkt weltweit der Ausbau von Kapazitäten den Zielen hinterher, aber Europa ist besonders spät dran. Der aktuelle Anteil von nur

Nur 5 % der CCUS-Kapazitäten weltweit befinden sich in Europa

5 % an den globalen Kapazitäten soll bis 2030 auf 25 % steigen, was Europa vom Schlusslicht in die Spitzengruppe katapultieren würde. Für diese Anstrengungen werden in der EU jährlich 12,2 Mrd. EUR Investitionen alleine in die Infrastruktur benötigt. Global sind es insgesamt durchschnittlich 120 Mrd. USD, die jährlich bis 2050 notwendig sind.

Infrastruktur und Speicherkapazitäten

Eine der Voraussetzungen für eine nachhaltige und lukrative CO₂-Wirtschaft ist ein Infrastrukturnetz. Das umfasst den Ausbau von Transportmöglichkeiten wie etwa Pipelines oder Zugverbindungen, den Abbau bürokratischer Hemmnisse und die Erschließung von Endlagerstätten. Aber auch in diesem Punkt entspricht die aktuelle Planung nicht den Forderungen des NZE-Szenarios. Statt der bisher geplanten Erschließung von 420 Mio. Tonnen CO₂-Speicherkapazität pro Jahr bräuchte es analog zu den oben genannten Zahlen zur nötigen Abscheidemenge 1.200 Mio. Tonnen. Gegenüber den aktuell ausgewiesenen 44 Mio. Tonnen CO₂-Speicherkapazitäten weltweit wäre das ein Anstieg auf das mehr als 26-Fache.

Den überwiegenden Teil bestehender Infrastruktur findet man aktuell in den USA, wo 92 % der schon im Betrieb befindlichen CO₂-Pipelines verlaufen. Perspektivisch will Europa aufholen. So hat die Nordseeregion seit 2022 mehr als 30 neue Transport- und Speicherprojekte auf den Weg gebracht und damit bedeutende Fortschritte beim Ausbau der CO₂-Infrastruktur gemacht. Die Projekte zielen darauf ab, Cluster von Abscheidungsanlagen in Zement-, Wasserstoff- und Industrieanlagen auf dem Festland mit Speicherstätten in der Nordsee zu verbinden. Insgesamt sprechen die Prognosen des NZE-Szenarios der Speicherung von CO₂ mehr Bedeutung zu als der Weiterverwendung. Bis 2050 werden demnach nur 5 % des abgeschiedenen CO₂ genutzt. Der überwiegende Teil des freigesetzten Gases soll permanent entfernt werden.

Die Internationale Energieagentur (IEA) beschreibt den Stand der Technologien rund um die Speicherung von Kohlenstoff als „not on track“ – es kann also nur besser werden. Sie stuft aus ökologischer Sicht eine Speicherung offshore als weniger kritisch ein als onshore.

Carbon-Capture-Technologien

Das freigesetzte Kohlenstoffdioxid lässt sich auf zwei Wegen abscheiden. Zum einen ist es möglich, bei den entsprechenden Prozessen Filter zwischenschalten, zum anderen kann man CO₂ aus der Atmosphäre abscheiden (Direct Air Capture). Bislang spielt Direct Air Capture kaum eine Rolle. Mithilfe der weltweit bestehenden 27 Anlagen können aktuell 10.000 Tonnen CO₂ pro Jahr abgeschieden werden. Dieser Wert könnte bis 2030 auf 4,5 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr steigen, was zwar 500-mal mehr als heute wäre, aber immer noch weniger als 7 % der geforderten 75 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr bis 2030. Die Technologie ist aktuell einfach noch zu ineffizient. Um eine Tonne CO₂ aus der Atmosphäre direkt abzuscheiden, braucht man je nach verwendeter Technologie 6 bis 9 Gigajoule Energie. Das entspricht der Hälfte des Jahresertrags einer 5 kWp PV-Anlage.

Weitaus effizienter ist hingegen die Abscheidung von CO₂ etwa bei industriellen Prozessen oder beim Verbrennen einer biogenen Quelle wie Biogas (BECCS). Das abgeschiedene CO₂ wird aktuell neben der permanenten Speicherung in direkten Verwendungspfaden in der Düngemittelindustrie genutzt, um Harnstoff herzustellen und die Ölgewinnung

120 Mrd. USD
jährlich an Investi-
tionen notwendig

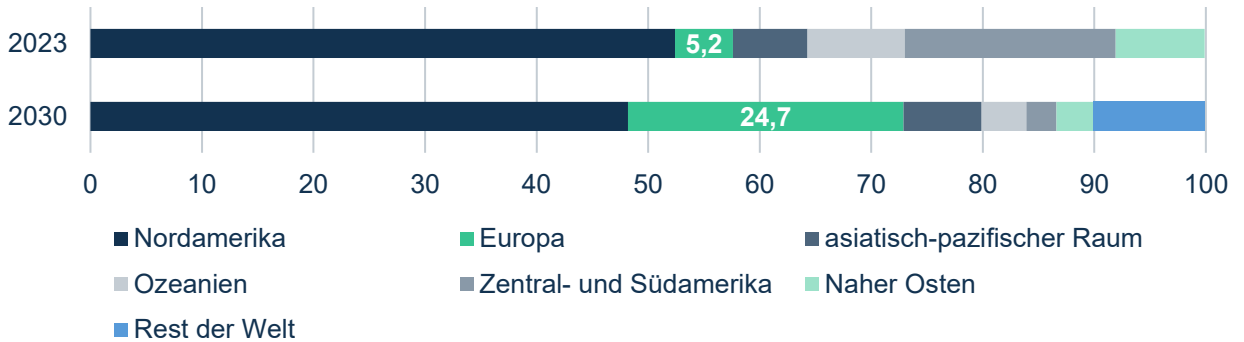
Die Planung hinkt
den Erfordernissen
deutlich hinterher

Direct Air Capture
ist aktuell zu teuer
und ineffizient

Europa will 2030
über ein Viertel der
globalen Kapazitä-
ten verfügen

zu verbessern. Industrielle Prozesse, bei denen ein möglichst hochkonzentrierter Gasstrom entsteht, sind dabei besonders für Carbon Capture geeignet. Hier wird der Kosten- und Energieaufwand minimiert.

Betriebliche und geplante CO₂-Abscheidungskapazität nach Regionen



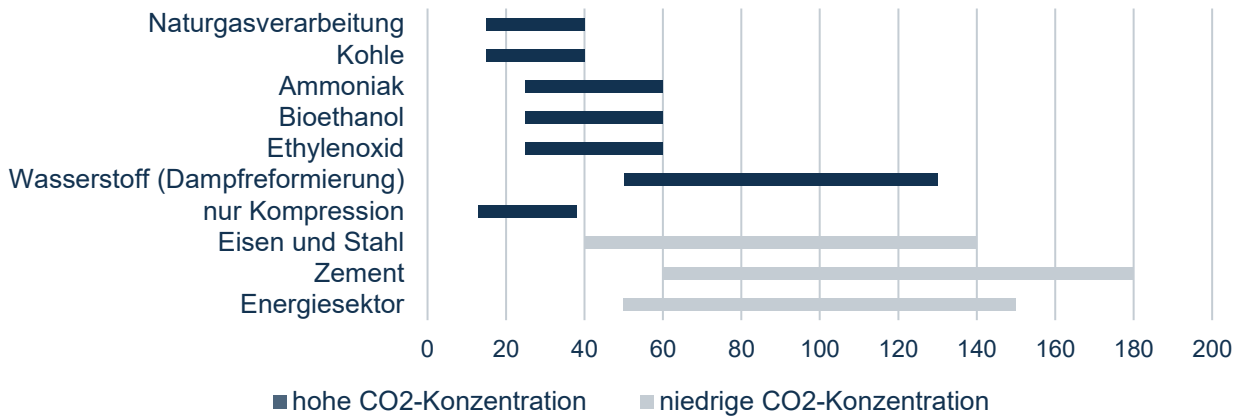
% des globalen Anteils
 Quelle: International Energy Agency, LBBW Research

Kosten des Carbon Capture

Ein Blick auf die Kostenstruktur der geplanten CO₂-Infrastruktur ermöglicht es abzuschätzen, in welchen Industriesektoren Carbon Capture eine Rolle spielen wird. Denn es gibt keinen einheitlichen Preis für CCUS. Zunächst muss man zwischen Prozessen mit hochkonzentrierten und weniger stark konzentrierten Gasströmen unterscheiden. Tendenziell hoch ist die Konzentration bei chemischen Industrieprozessen wie der Naturgasverarbeitung oder der Herstellung von Bioethanol oder Ammoniak, aber auch bei der Verbrennung von Kohle. In den Sektoren rund um Zement, Eisen und Stahl sowie beim konkreten Direct Air Capture ist der Gasstrom weniger stark konzentriert. Das hat zur Folge, dass höhere Kosten anfallen. Bei industriellen Prozessen mit hochkonzentrierten Gasströmen liegt die Preispanne pro abgeschiedener Tonne CO₂ bei 15 bis 25 USD. Das ist bei den aktuellen Preisen auf dem EU-Emissionsmarkt durchaus wettbewerbsfähig. Bei Prozessen mit verdünnten Gasströmen bewegt sich der Preis zwischen 40 und 120 USD pro Tonne. Dazu gehören auch besonders betroffene Sektoren, wie etwa Zement. Direct Air Capture ist noch deutlich teurer als alle anderen Prozesse: Bisher zahlen Kunden hier zwischen 600 und 1000 USD je abgeschiedene Tonne CO₂. Zwar versprechen DAC-Marktführer bis 2035 einen Preis von rund 150 USD und bis 2050 sogar unter 100 USD, allerdings wäre dafür mehr Förderung und Forschung nötig. DAC bleibt also vorerst die teuerste Technik, selbst wenn sie grundsätzlich vielversprechend ist.

Kosten können zwischen 15 und 120 USD pro Tonne schwanken

Carbon-Capture-Kosten nach Sektoren (USD/t CO₂, 2019)



Quelle: International Energy Agency, LBBW Research

Der Fahrplan

Die Bundesregierung möchte Sektoren, die durch die notwendige Dekarbonisierung bedroht sind, in Deutschland halten. Denn eine Deindustrialisierung Deutschlands kann nicht gewollt sein. Im verarbeitenden Gewerbe wurden 2021 in den knapp 25.000 Industrieunternehmen mit 8 Mio. Beschäftigten etwa 2,5 Bio. EUR erwirtschaftet.

In einer Erklärung zu den Eckpunkten ihrer Carbon-Management-Strategie hat die Bundesregierung aufgezeigt, welche Schwerpunkte sie setzen will. Zunächst bekennt sich das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz zu CCUS als zukunftsstragender Technologie. Bereits ab 2030 müssen demnach relevante Mengen an CO₂ abgetrennt und gespeichert oder genutzt werden. Die für Deutschland als besonders relevant definierten Industrien sind dabei Zement, Kalk, Grundstoffchemie und Abfallverbrennung. Hier wird die Bundesregierung entsprechende Projekte unterstützen. Für Verstromungsanlagen mit gasförmigen Energieträgern oder Biomasse will sie CCUS ermöglichen, sie allerdings bei fossilen Energieträgern nicht fördern. Den Kohleausstieg will Berlin durch diese Entscheidung nicht revidieren, denn für Kohleverstromung soll CCUS nicht erlaubt sein.

Beim Ausbau der CO₂-Infrastruktur für den Transport des Kohlenstoffdioxids vom Entstehungs- zum Speicherort setzt Deutschland auf private Betreiber. Der Staat soll bürokratische Hemmnisse beseitigen und Genehmigungsverfahren vereinfachen. Zudem will die Regierung es ermöglichen, Speicherstätten in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) in der Ost- und Nordsee zu erschließen. So wird gemäß des Verursacherprinzips Deutschland auch zum Endlagerort. Genehmigungen für die dauerhafte Speicherung von CO₂ im geologischen Untergrund auf dem deutschen Festland soll es allerdings weiterhin nicht geben.

Um die Entstehung eines europäischen CO₂-Marktes zu unterstützen, will Berlin den nationalen Rechtsrahmen ändern und den Export von CO₂ ermöglichen. Aktuell scheitern etwaige Pipeline-Projekte in Deutschland an fehlenden und veralteten Gesetzen und Verordnungen sowie an Rechtsunsicherheiten. Hier besteht hoher Handlungsdruck. Zudem räumt die Bundesregierung ein, dass CCUS-Technologien kurz-

Deutschland
bekennt sich zum
Carbon Capture

Staatliche
Förderung nur
für ausgewählte
Sektoren

Auch in
Deutschland sind
Endlager geplant

bis mittelfristig teurer als herkömmliche Technologien sein werden und verspricht eine staatliche Förderung. Konkrete Anforderungen oder Richtlinien sind in der Entwicklung.

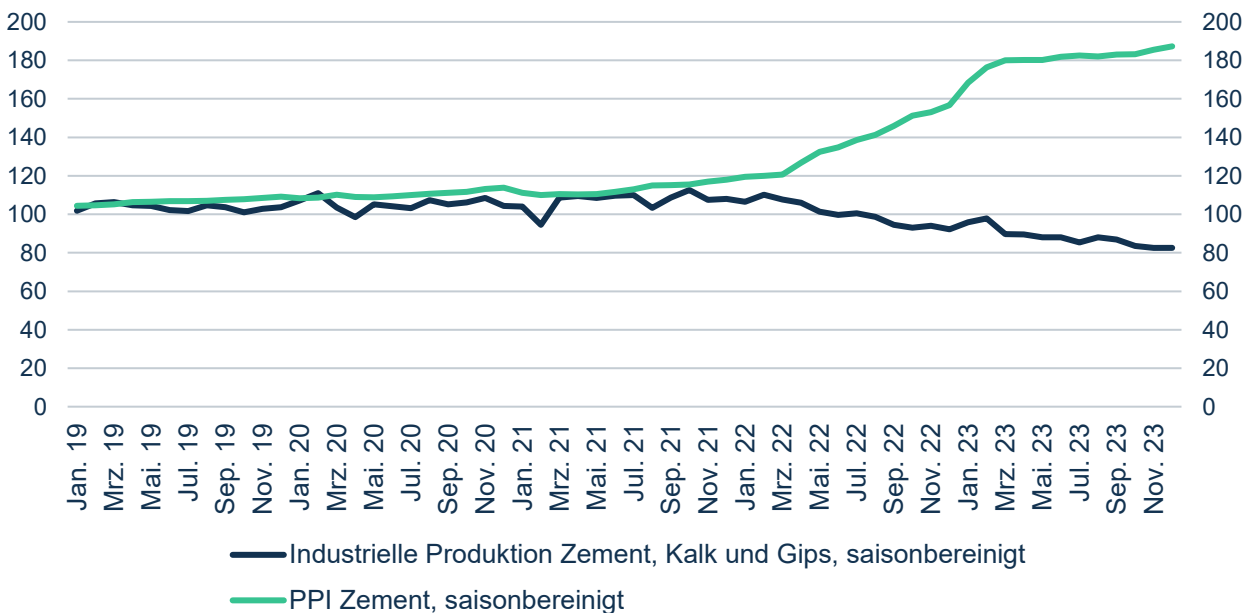
CCUS-Standort Deutschland

Die von der Bundesregierung als besonders relevant eingestufteten Sektoren kommen nicht ohne CO₂-Emissionen aus. Bei ihnen gilt es, schnell und zuverlässig CCUS-Technologien zu etablieren. Ansonsten droht der Verlust ganzer Industriezweige, deren Emissionen unvermeidbar sind. Sie leiden enorm unter der Energiekrise und dem Druck der Emissionsziele der Bundesregierung. So ist beispielsweise in der Zementindustrie der Produzentenpreis seit 2019 um 90 Punkte gestiegen. Dadurch ist er auch nicht mehr wettbewerbsfähig und das Produktionsvolumen nimmt ab. Dabei sind alleine in der Zementbranche und ihrer Wertschöpfungskette weit über 60.000 Stellen indirekt betroffen. 2022 betrug der Umsatz in diesem Sektor rund 21 Mrd. EUR.

Für Vertreter der Industrieverbände ist CCUS entsprechend unabdingbar. In Positionspapieren betonen sie Dringlichkeit und Eile der nationalen Implementierung und bemängeln fehlende Anreize sowie unklare Rechtsrahmen. Zudem betonen die Verbände potenzielle sektorübergreifende Synergieeffekte. So lassen sich mit Hilfe des abgeschiedenen CO₂ und Wasserstoff beispielsweise Methan für Reservekraftwerke, Methanol für die chemische Industrie oder synthetische Kraftstoffe herstellen.

**Schnelle
Anwendung und
Skalierung not-
wendig**

Kalk, Zement & Gips: Produktion und Preis (Index 2015)



Quelle: Statistisches Bundesamt, LBBW Research

Fazit

Deutschland räumt den Weg frei für die CO₂-Kreislaufwirtschaft. Und das ist auch richtig so. Zum einen muss eine gesunde Volkswirtschaft

in Zeiten des Umbruchs technologieoffen agieren. Ein zu großer Anteil der deutschen Industrie hängt an nicht vermeidbaren Emissionen. Zum anderen muss Deutschland innerhalb der europäischen Gemeinschaft die Entwicklungen in den Nachbarländern aufholen und die Chance ergreifen, eine Vorreiterrolle zu entwickeln. Allerdings muss auch klar sein, dass CCUS nicht der einzige Hoffnungsträger einer industriellen Dekarbonisierung sein darf. Zu teuer und zu ineffizient ist die Technologie heute. Skalierung und Effizienzsteigerung werden monumentale Aufgaben, bei denen auch mit potenziellen Fehlinvestitionen und Verlusten zu rechnen ist. Demgegenüber steht die Not der Lage. Es bleibt nicht viel Spielraum, und man darf sich nicht vor alternativen Treibern der Transformation verschließen. Grundsätzlich muss der entstehende Kohlenstoffmarkt möglichst von Anreizen geprägt sein. Staatliche Förderungen dürfen nur so weit gehen, dass immer noch Anreize zur Modernisierung bestehen. Denn mit Hinblick auf Ressourcenknappheit, die auch bei finanziellen Mitteln besteht, sollte CCUS keinesfalls als Instrument zur Wiederbelebung veralteter Industrieprozesse dienen.

Wichtige Schritte in die richtige Richtung

Nicht alles auf eine Karte setzen

*„Wir sind nicht mehr in einer Luxuslage [...],
wir müssen das nutzen,
was wir haben. Dazu gehört CCS.“*

Robert Habeck, Bundesminister für Wirtschaft und Klimaschutz, 2024

Tabellarische Darstellung der entstehenden Aufgaben

Aufgabe	Risiken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> ● Ausbau des Transportnetzes 	<ul style="list-style-type: none"> ● Ökologisches Restrisiko bei Endlagerstätten ● Fehlinvestitionen könnten Ressourcenverschwendung bedeuten 	<ul style="list-style-type: none"> ● Integration in einen europäischen Markt ● Synergieeffekte des CO₂- und Wasserstofftransports ● Private Betreiber können Umsätze verwirklichen ● Schaffung eines CO₂-Wirtschaftskreislaufs
<ul style="list-style-type: none"> ● Schnelle Integration von Abscheidungstechnologien 	<ul style="list-style-type: none"> ● Anlagenbetreiber fühlen sich weniger zu Effizienzverbesserungen verpflichtet ● Fehlinvestitionen in unreife Technologien führen zu Verlusten ● CCUS bleibt auf Dauer zu teuer und Anlagen kommen nicht ohne staatliche Unterstützung aus ● Künstliche Aufrechterhaltung aussterbender Industrien 	<ul style="list-style-type: none"> ● Unternehmen können Kosten der Energietransformation abfedern ● Abgeschiedenes CO₂ kann als Ressource gehandelt werden ● Nutzung des abgeschiedenen Kohlenstoffverbindungen zur Herstellung alternativer Energieträger ● Erhalt der Sektoren mit nicht-vermeidbaren Emissionen

Disclaimer

Diese Publikation richtet sich ausschließlich an Empfänger in der EU, Schweiz und Liechtenstein.

Diese Publikation wird von der LBBW nicht an Personen in den USA vertrieben und die LBBW beabsichtigt nicht, Personen in den USA anzusprechen.

Aufsichtsbehörden der LBBW: Europäische Zentralbank (EZB), Sonnemannstraße 22, 60314 Frankfurt am Main und Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht (BaFin), Graurheindorfer Str. 108, 53117 Bonn / Marie-Curie-Str. 24-28, 60439 Frankfurt.

Diese Publikation beruht auf von uns nicht überprüfbaren, allgemein zugänglichen Quellen, die wir für zuverlässig halten, für deren Richtigkeit und Vollständigkeit wir jedoch keine Gewähr übernehmen können. Sie gibt unsere unverbindliche Auffassung über den Markt und die Produkte zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses wieder, ungeachtet etwaiger Eigenbestände in diesen Produkten. Diese Publikation ersetzt nicht die persönliche Beratung. Sie dient nur zu Informationszwecken und gilt nicht als Angebot oder Aufforderung zum Kauf oder Verkauf. Für weitere zeitnähere Informationen über konkrete Anlagemöglichkeiten und zum Zwecke einer individuellen Anlageberatung wenden Sie sich bitte an Ihren Anlageberater.

Wir behalten uns vor, unsere hier geäußerte Meinung jederzeit und ohne Vorankündigung zu ändern. Wir behalten uns des Weiteren vor, ohne weitere Vorankündigung Aktualisierungen dieser Information nicht vorzunehmen oder völlig einzustellen.

Die in dieser Ausarbeitung abgebildeten oder beschriebenen früheren Wertentwicklungen, Simulationen oder Prognosen stellen keinen verlässlichen Indikator für die künftige Wertentwicklung dar.

Die Entgegennahme von Research Dienstleistungen durch ein Wertpapierdienstleistungsunternehmen kann aufsichtsrechtlich als Zuwendung qualifiziert werden. In diesen Fällen geht die LBBW davon aus, dass die Zuwendung dazu bestimmt ist, die Qualität der jeweiligen Dienstleistung für den Kunden des Zuwendungsempfängers zu verbessern.

