

Impulspapier

# Carbon Management für Baden-Württemberg

Maike Schmidt · Dirk Schindler · Almut Arneth  
Sven Kesselring · Sabine Löbbe · Martin Pehnt

**STAND**

21.03.2024



**KLIMA-SACHVERSTÄNDIGENRAT**  
BADEN-WÜRTTEMBERG

## **IMPRESSUM**

Klima-Sachverständigenrat Baden-Württemberg  
z. Hd. Geschäftsstelle  
Kernerplatz 9  
70182 Stuttgart  
[klima-sachverstaendigenrat@um.bwl.de](mailto:klima-sachverstaendigenrat@um.bwl.de)

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

## **KLIMA-SACHVERSTÄNDIGENRAT**

### **Dipl.-Ing. Maike Schmidt (Vorsitzende)**

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)  
Meitnerstr. 1, 70563 Stuttgart  
E-Mail: maike.schmidt@zsw-bw.de  
Telefon: +49 711 78 70-250

### **Professor Dr. Dirk Schindler (Stellvertretender Vorsitzender)**

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Werthmannstrasse 10, 79085 Freiburg  
E-Mail: dirk.schindler@meteo.uni-freiburg.de  
Telefon: +49 761 203 3588

### **Professor Dr. Almut Arneth**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Kreuzeckbahnstraße 19, 82467 Garmisch-Partenkirchen  
E-Mail: almut.arneth@kit.edu  
Telefon: +49 8821 183-131

### **Professor Dr. Sven Kesselring**

Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU)  
Parkstraße 4, 73312 Geislingen  
E-Mail: sven.kesselring@hfwu.de  
Telefon: +49 7331 22525

### **Professor Dr. Sabine Löbbe**

Hochschule Reutlingen  
Alteburgstraße 150, 72762 Reutlingen  
E-Mail: sabine.loebbe@reutlingen-university.de  
Telefon: +49 7121 271-7127

### **Dr. Martin Pehnt**

Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH (ifeu)  
Wilckensstraße 3, 69120 Heidelberg  
E-Mail: martin.pehnt@ifeu.de  
Telefon: +49 6221 4767 0

Diese Stellungnahme beruht auch auf der sachkundigen und engagierten Arbeit unserer wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter:

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW): **Laura Liebhart**

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg: **Dr. Christopher Jung**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT): **Tobias Laimer**

Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU): **Rafael Labanino**

Hochschule Reutlingen: **Dr. André Hackbarth**

Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH (ifeu): **Lea Jhannsen**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>2 Warum benötigt Baden-Württemberg ein Carbon Management?</b>	<b>3</b>
2.1 Carbon Management – Worum geht es?	3
2.2 Carbon Management als Teil der Klimaschutzverpflichtung	4
2.3 Herausforderungen einer aktiven Nutzung von Treibhausgasen	6
<b>3 Carbon Management</b>	<b>11</b>
3.1 Carbon Management – Was bedeutet das?	11
3.2 Carbon Management in der Energiewirtschaft	13
3.3 Carbon Management in der Industrie	14
3.4 Carbon Management in der Landwirtschaft und im LULUCF-Bereich	17
<b>4 Anregungen für den weiteren Prozess zur Entwicklung des Carbon Managements auf Landesebene</b>	<b>19</b>
<b>5 Literaturverzeichnis</b>	<b>20</b>

# 1 Zusammenfassung

Carbon Management bezeichnet eine Steuerung der Kohlenstoffkreisläufe, umfasst dabei alle Maßnahmen für den Umgang mit unvermeidbaren CO<sub>2</sub>-Emissionen und ist – verantwortungsvoll eingesetzt – eine unverzichtbare Ergänzung zu umfassenden Klimaschutzmaßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Emissionsvermeidung, um das Ziel der Netto-Treibhausgasneutralität bis 2040 zu erreichen.

Der Klima-Sachverständigenrat stellt klar, dass **Carbon Management ausdrücklich KEIN Ersatz für Klimaschutzmaßnahmen** ist, diese aber ergänzen muss, gerade weil **Baden-Württemberg die Netto-Treibhausgasneutralität fünf Jahre früher** als der Bund und **zehn Jahre früher** als die Europäische Union anstrebt.

Die CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung (CCS) ist nicht gleichwertig zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung, denn die **CO<sub>2</sub>-Abscheidung ist energie- und kostenintensiv**. Sie erlaubt **keine vollständige CO<sub>2</sub>-Reduktion** – es werden CO<sub>2</sub>-Abscheideraten von 85-90 % berichtet bzw. prognostiziert, so dass immer CO<sub>2</sub>-Restemissionen verbleiben, die über natürliche Senken oder über CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus der Luft (Direct Air Capture) und anschließende Speicherung ausgeglichen werden müssen - und die **langfristige CO<sub>2</sub>-Speicherung bleibt eine risikobehaftete Ewigkeitsaufgabe**.

**Daher ist CCS nur für unvermeidbare CO<sub>2</sub>-Emissionen zuzulassen**. Diese entstehen unmittelbar in Prozessen, die nicht durch emissionsfreie Prozesse ersetzt werden können und deren Produkte auch zukünftig unverzichtbar sein werden – wie die Zementproduktion, die Kalkherstellung, Prozesse in der Chemischen Industrie, Prozesse in Raffinerien oder die thermische Abfallverwertung.

**Ein langfristig nachhaltiges, treibhausgasneutrales Wirtschaftssystem muss auf den Einsatz jeglicher fossilbasierter Kohlenwasserstoffe verzichten**. Es besteht aber weiterhin ein Bedarf an Kohlenwasserstoffen, beispielsweise für die rohstoffliche Versorgung der chemischen Industrie für Basischemikalien wie Methanol u. a. für die Herstellung von Kunststoffen. Dieser muss zukünftig erneuerbar mit aus Wasserstoff und CO<sub>2</sub> synthetisierten Kohlenwasserstoffen gedeckt werden. **So wird CO<sub>2</sub> vom Abfallstoff zum Rohstoff und kann über Carbon Capture and Utilization (CCU) auch neue Wertschöpfungsketten eröffnen**, solange sichergestellt wird, dass es sich nicht nur um eine rein zeitliche Verschiebung der Freisetzung des CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre handelt, sondern über das Schließen des Kohlenstoffkreislaufs eine längerfristige Senkenfunktion erreicht wird. Allerdings ist für eine **breite Nutzung von CCU** in Baden-Württemberg ein **stark forcierter Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung, der Stromnetzinfrastrukturen und insbesondere der Wasserstoffversorgung über Pipelineinfrastrukturen** zwingend.

Gemäß der in den Eckpunkten zur Carbon Management Strategie des Bundes [BMWK 2024a] genannten Präferenzen soll die Speicherung von CO<sub>2</sub> aus Deutschland vorrangig unter der Nordsee erfolgen. Dies bedeutet für Baden-Württemberg, **dass CCS nur mit dem Aufbau einer entsprechenden CO<sub>2</sub>-Infrastruktur einsetzbar wird**. Damit CCS also überhaupt als Option für Baden-Württemberg nutzbar wird, bedarf es zeitnah einer Identifikation der tatsächlich unvermeidbaren CO<sub>2</sub>-Quellen und **des unmittelbaren Einstiegs in die intensive Planung und Umsetzung der Anbindung an eine langfristig sinnvoll dimensionierte CO<sub>2</sub>-Infrastruktur**.

Auch wenn wesentliche Rahmenseetzungen für das Carbon Management auf Bundes- und EU-Ebene erfolgen, **ist Baden-Württemberg in der Pflicht, sich frühzeitig auf sich abzeichnende Rahmenbedingungen vorzubereiten und eigene Positionen zu entwickeln**, um diese in den Abstimmungsprozessen auf Bundes- und EU-Ebene im Sinne des erfolgreichen Klimaschutzes im Land vertreten zu können und damit die erforderliche Unterstützung für die baden-württembergische Wirtschaft und Gesellschaft bei den notwendigen Wandlungs- und Anpassungsprozessen zu sichern. **Hierfür benötigt Baden-Württemberg ein definiertes und fokussiertes Carbon Management.**

Die Entwicklung des Carbon Managements bedarf neben der Erarbeitung einer wissenschaftlich fundierten Basis auch eines **intensiven Dialogprozesses**. Hierin sollten neben den Interessen der **Industriezweige**, die ohne CCU oder CCS nicht treibhausgasneutral produzieren können, auch diejenigen Industriezweige vertreten sein, die zukünftig auf CO<sub>2</sub> als Rohstoff angewiesen sein werden. **Akteure**, die Einfluss auf **die Entwicklung der natürlichen Treibhausgasenken** nehmen können, sollten ebenso wie **zivilgesellschaftliche Akteure** (z. B. Umwelt- und Naturschutzverbände) eingebunden werden. Denn die Bedenken gegenüber CCS sind bislang nicht vollständig ausgeräumt, auch wenn sich Positionen verändert haben. **Ziel muss es sein, eine konsensfähige Strategie zu entwickeln, die von der Industrie und einer Mehrheit der Bevölkerung unterstützt** werden kann. Denn ohne Zustimmung der Bevölkerung ist ein Bau von CO<sub>2</sub>-Infrastrukturen nicht umsetzbar und CCS für Baden-Württemberg nicht nutzbar.

## 2 Warum benötigt Baden-Württemberg ein Carbon Management?

### 2.1 Carbon Management – Worum geht es?

Carbon Management bezeichnet eine **Steuerung der Kohlenstoffkreisläufe**, umfasst dabei alle Maßnahmen für den **Umgang mit unvermeidbaren CO<sub>2</sub>-Emissionen** und ist – verantwortungsvoll eingesetzt – eine unverzichtbare **Ergänzung zu umfassenden Klimaschutzmaßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Emissionsvermeidung**, um das Ziel der Netto-Treibhausgasneutralität und dauerhaft eine stabile Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre auf einem Niveau zu erreichen, das die mittlere globale Erderwärmung langfristig nicht über 1,5 °C gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter steigen lässt.

Carbon Management schließt **sämtliche technischen Verfahren** zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung (carbon capture, CC), zur CO<sub>2</sub>-Nutzung (carbon use, CU), zur CO<sub>2</sub>-Kreislaufführung und zur CO<sub>2</sub>-Speicherung (Carbon Storage, CS) ein. Die CO<sub>2</sub>-Abscheidung kann theoretisch in allen Prozessen angewendet werden, die CO<sub>2</sub> emittieren. Der Klima-Sachverständigenrat befürwortet deren Einsatz jedoch ausschließlich in industriellen Prozessen mit unvermeidbaren CO<sub>2</sub>-Emissionen, bei der Verbrennung von unvermeidbaren oder biogenen Rest- und Abfallstoffen oder direkt aus der Luft (Direct Air Capture, DAC). Mit Blick auf Bioenergy Carbon Capture (BECC) sind aus Sicht des Klima-Sachverständigenrats speziell bei der Nutzung von ausschließlich für BECC angebaute Biomasse noch so unterschiedliche, kontrovers diskutierte Fragen in Baden-Württemberg, in Deutschland, in der EU und im Rahmen des UNFCCC zu klären, dass hier keine Empfehlung zu dessen Einsatz ausgesprochen werden kann.

**Die Möglichkeiten zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung sind sowohl technisch als auch ökonomisch begrenzt** und erlauben heute keine vollständige CO<sub>2</sub>-Abtrennung. Abscheideraten zwischen 85 % (UBA, 2023) und 90 % (IEA, 2021a) werden berichtet. Die Nutzung von **CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung ermöglicht somit für sich genommen keine Netto-Treibhausgasneutralität**, sondern nur eine signifikante Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die verbleibenden Restemissionen müssen über natürliche Senken oder zusätzliche technische Senken wie DAC in Verbindung mit Speicherung ausgeglichen werden. Dies führt zu zusätzlichen Kosten und kann auch Nebenwirkungen wie einen steigenden Strombedarf oder höhere Flächenbedarfe nach sich ziehen, wenn die Anwendungen großskalig angestrebt werden.

Daher sollten im Rahmen eines Carbon Managements nicht ausschließlich die Nutzung der technischen Senken über die CO<sub>2</sub>-Abscheidung, die CO<sub>2</sub>-Nutzung und die CO<sub>2</sub>-Speicherung adressiert werden. **Der Erhalt der natürlichen CO<sub>2</sub>-Senken**, deren Senkenleistung auch immer im Zusammenspiel mit den natürlichen CO<sub>2</sub>-Quellen betrachtet werden muss, ist ebenso zu berücksichtigen wie die Prüfung der Optionen einer gezielten **Ausweitung der Senkenleistung**. Diskutiert werden der Einsatz von Pflanzenkohle, Carbon Farming oder eine beschleunigte Gesteinsverwitterung, auch wenn bislang kaum gesicherte Erkenntnisse zu deren tatsächlichen realisierbaren Minderungspotenzialen vorliegen. Bezüglich der Pflanzenkohle ist zudem nicht nur offen, wie das erforderliche biologische Material nachhaltig bereitgestellt werden kann, sondern auch, welche Interaktionen mit

dem Wasser- oder Wärmegehalt des Bodens ausgelöst werden. Hier ist eine ganzheitliche Bewertung erforderlich. Die Potenziale der natürlichen Senken erscheinen gegenüber den technischen Senken vergleichsweise sehr gering, bieten aber außer DACS (und nachhaltiger BECCS) die einzige Möglichkeit, die Kohlenstoffkreisläufe trotz der verbleibenden Restemissionen zu schließen.

Denn Netto-Treibhausgasneutralität bedeutet nicht, dass keine Treibhausgase mehr emittiert werden. **Netto-Treibhausgasneutralität bedeutet, dass gerade noch so viele Treibhausgase ausgestoßen werden dürfen, wie über Treibhausgassenken wieder aufgenommen und möglichst langfristig gespeichert werden können.** Oberste Priorität hat dabei die maximale Reduktion des Treibhausgasausstoßes, gerade um die erforderliche, aber mit Unsicherheiten und Risiken verbundene Treibhausgasaufnahme so gering wie möglich zu halten.

## 2.2 Carbon Management als Teil der Klimaschutzverpflichtung

Baden-Württemberg hat sich mit dem Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz (KlimaG BW) zum Erreichen ambitionierter Klimaschutzziele verpflichtet. Bis 2030 sollen die Netto-Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um 65 % gesenkt werden, und **bereits 2040 soll Netto-Treibhausgasneutralität erreicht werden.** Baden-Württemberg kann diese Ziele nur erreichen, wenn es mit eigenen Maßnahmen gezielt die Instrumente auf der Bundesebene und EU-Ebene nutzt, ergänzt und verstärkt – gerade weil Baden-Württemberg die **Netto-Treibhausgasneutralität fünf Jahre früher als der Bund und zehn Jahre früher als die Europäische Union anstrebt.**

**Neben einer konsequenten Umsetzung der erforderlichen Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsmaßnahmen erfordert dies ergänzende Maßnahmen des Carbon Managements** – für die Prozesse, in denen CO<sub>2</sub>-Emissionen unvermeidbar sind, die nicht durch emissionsfreie Prozesse ersetzt werden können und deren Produkte auch zukünftig unverzichtbar sein werden – wie die Zementproduktion, die Kalkherstellung, Prozesse in der Chemischen Industrie, Prozesse in Raffinerien oder die thermische Abfallverwertung.

**Ein auch langfristig nachhaltiges, treibhausgasneutrales Wirtschaftssystem muss auf den Einsatz jeglicher fossilbasierter Kohlenwasserstoffe verzichten<sup>1</sup>** – Mineralöl und Erdgasvorkommen dürfen nicht mehr gefördert werden, sondern müssen im Boden verbleiben. Um den weiterhin bestehenden Bedarf an Kohlenwasserstoffen bedienen zu können, sind „erneuerbare“ Rohstoffquellen für die Produktion synthetischer Kohlenwasserstoffe zu erschließen. Dies trifft in besonderem Maße auf die rohstoffliche Versorgung der chemischen Industrie zu, z. B. für Basischemikalien wie Methanol, das u. a. für die Herstellung von Kunststoffen benötigt wird.

Das Land Baden-Württemberg kann das Erreichen der Klimaschutzziele nicht allein sicherstellen, da wesentliche Rahmenseetzungen, u. a. für das Carbon Management, auf Bundes- und EU-Ebene erfolgen. **Baden-Württemberg ist hier aber in der Pflicht, sich frühzeitig auf sich abzeichnende Rahmenbedingungen vorzubereiten und eigene Positionen zu entwickeln,** um diese in den Abstimmungsprozessen auf Bundes- und EU-Ebene im Sinne des erfolgreichen Klimaschutzes im Land

---

<sup>1</sup> Auf der COP28 in Dubai im Dezember 2023 wurde nach intensiven Verhandlungen der weltweite Ausstieg aus den fossilen Energieträgern Kohle, Erdgas und Mineralöl beschlossen, wenn auch noch ohne ein konkretes Ausstiegsdatum.

vertreten zu können und damit die **erforderliche Unterstützung für die baden-württembergische Wirtschaft und Gesellschaft bei den notwendigen Wandlungs- und Anpassungsprozessen zu sichern**. Zudem müssen die mit einem Carbon Management einhergehenden zusätzlichen Anforderungen an die Infrastruktur – etwa Flächenbedarf für eine Abtrennungsanlage, CO<sub>2</sub>-, H<sub>2</sub>- und Strom-Leitungsinfrastruktur, wegfallende Wärmequellen durch den Wärmebedarf der CO<sub>2</sub>-Abtrennung usw. – bereits frühzeitig in die Infrastrukturplanungen des Landes einfließen.

Klimaschutz muss nicht nur im politischen, sondern genauso auch im wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Handeln die Bedeutung gegeben werden, die Klimaschutz global hat. **Nur aktiver und entschlossener Klimaschutz kann die Handlungsspielräume erhalten, die erforderlich sind, um sich an die beherrschbaren Auswirkungen des Klimawandels anpassen zu können und die nicht mehr beherrschbaren Auswirkungen zu minimieren**. Wichtig ist hierbei, Klimaschutz als gemeinsames und verbindendes Element und als handlungsleitende Orientierung in der Gesellschaft zu etablieren.

Dies gilt auch für ein **branchenübergreifendes Carbon Management, das nicht nur die Abscheidung der langfristig unvermeidbaren CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Industrie und der Abfallverwertung adressiert, sondern Nutzungspfade (CCU) aufzeigt und priorisiert, CO<sub>2</sub>-Speicheroptionen (CCS) und -pfade skizziert und die erforderlichen Infrastrukturen identifiziert**, sondern genauso auch die natürlichen Kohlenstoffquellen und -senken in Baden-Württemberg berücksichtigt und diese gezielt entwickelt.

Damit Baden-Württemberg dem im Koalitionsvertrag 2021 verankerten Anspruch, **Baden-Württemberg „zum Klimaschutzland als internationaler Maßstab“ zu entwickeln, gerecht werden kann, müssen zeitnah entsprechende Maßnahmen umgesetzt werden**. Ziel dieses Kurzpapiers ist es daher, Hinweise für die zeitnahe Entwicklung des Carbon Managements auf Landesebene zu geben, um im Bundes- und europäischen Vergleich als Gestalter und Vorreiter auftreten zu können und nicht durch passives Abwarten wichtige Wertschöpfungspotenziale für Baden-Württembergs Industrie zu verschenken.

**Der Klima-Sachverständigenrat möchte an dieser Stelle betonen, dass Carbon Management ausdrücklich KEIN Ersatz für Klimaschutzmaßnahmen ist, diese aber ergänzen muss, um bis 2040 Netto-Treibhausgasneutralität erreichbar zu machen**. Dabei muss der Klimaschutz noch mit deutlich höherer Intensität vorangetrieben werden, als dies bislang in Baden-Württemberg der Fall ist, um das Ziel für 2040 nicht zu verfehlen. Zudem sind Maßnahmen des Carbon Managements, die die unvermeidbaren Emissionen adressieren und Lösungen entwickeln, die bis 2040 implementiert werden können, ergänzend zu Maßnahmen des Klimaschutzes zwingend.

**Der Klima-Sachverständigenrat spricht sich für eine sehr klare Klimarangfolge im Umgang mit Treibhausgasemissionen aus: Vermeiden vor Verringern + Versenken – genau in dieser Priorisierung.**

Der Vorrang für Vermeiden bedeutet, dass überall dort, wo es CO<sub>2</sub>-freie bzw. -neutrale Alternativen gibt – erneuerbaren Strom, erneuerbare Wärme, biogene und strombasierte Kraftstoffe, grünen

Wasserstoff oder Biomasse<sup>2</sup> – diese auch einzusetzen sind. Dies gilt sowohl für die Dekarbonisierung, d. h. den vollständigen Verzicht auf den Einsatz von Kohlenwasserstoffen als Energieträger und Rohstoff als auch für die Defossilisierung, d. h. den Ersatz fossiler Kohlenwasserstoffe durch synthetische Kohlenwasserstoffe auf Basis erneuerbarer oder recycelter Rohstoffe. Die erforderlichen Technologien sind heute weitestgehend am Markt verfügbar, technisch ausgereift und überwiegend sofort einsetzbar sind, so dass eine Umsetzung unmittelbar begonnen werden kann.

**Verringern** adressiert die unterschiedlichen Methoden des Carbon Capture (CC), die zwar je nach Prozess mit 85-90 % hohe Abscheideraten, aber keine vollständige Abscheidung des freigesetzten CO<sub>2</sub> erlauben. CC stellt somit nur eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen dar und keine vollständige Vermeidung. Die tatsächliche Reduktion tritt erst in Verbindung mit der Nutzung (CCU) oder der Speicherung (CCS) des CO<sub>2</sub> ein. **Versenken** bezieht neben der CO<sub>2</sub>-Aufnahme und -Speicherung durch natürliche Senken insbesondere die technischen Senken CCU und CCS ein, wobei bei CCU sicherzustellen ist, dass es sich nicht nur um eine rein zeitliche Verschiebung der Freisetzung des CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre handelt. Hierzu muss ggf. auch auf Carbon Removal Technologien wie DAC/DACS zurückgegriffen werden, um den Kohlenstoffkreislauf bilanziell schließen zu können (siehe Abschnitt 1.3).

## 2.3 Herausforderungen einer aktiven Nutzung von Treibhausgas-senken

Der natürliche Kohlenstoffkreislauf umfasst Kohlenstoffvorkommen und Speichermöglichkeiten in der Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre, Pedosphäre und Lithosphäre. Für das Klima und damit das Leben auf der Erde sind jedoch vor allem die drei erstgenannten von Bedeutung. Hierbei handelt es sich um die oberflächennahen CO<sub>2</sub>-Speicher Ozean, Landbiosphäre und Atmosphäre. Für Baden-Württemberg relevante natürliche Treibhausgassenken sind daher insbesondere der Wald, Böden, Moore und Gesteinsverwitterung, die Kohlendioxid aus der Atmosphäre aufnehmen und dieses über Jahre, Jahrzehnte oder Jahrhunderte speichern, aber auch wieder abgeben können. **Natürliche Senken nehmen eine wichtige Pufferfunktion ein, sind aber gerade in der Dauerhaftigkeit ihrer Kohlenstoffbindung nicht so kalkulierbar und verlässlich wie technische Senken.**

Für die Nutzung technischer Senken ist im ersten Schritt Carbon Capture, d. h. die Abscheidung von CO<sub>2</sub> erforderlich. Danach unterscheidet man zwei Pfade – die Nutzung des Kohlenstoffs und die dauerhafte Einlagerung des Kohlenstoffs.

**CO<sub>2</sub> ist bislang der unerwünschte Abfallstoff**, der vor allem bei der Verbrennung von fossilen (aber auch von erneuerbaren) Energieträgern auf Kohlenstoffbasis entsteht – in der Industrie viel-

---

<sup>2</sup> Bei Biomasse ist zu beachten, dass auch Anbau und Ernte CO<sub>2</sub>-neutral erfolgen müssen, damit die Biomassenutzung als CO<sub>2</sub>-neutral eingestuft werden kann. Bei der Bewertung des CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzials im Wald oder in Bioenergiepflanzen ist darüber hinaus zu beachten, dass nicht nur der in der Biomasse enthaltene Kohlenstoff bewertet werden darf, sondern die CO<sub>2</sub>-Bilanz des Gesamt-Ökosystem berücksichtigt werden muss, die immer auch den heterotrophen Abbau abgestorbener Biomasse beinhalten muss. Desweiteren darf deren Bereitstellung anderen Nachhaltigkeitszielen nicht zuwider laufen.

fach, aber auch unvermeidbar in bestimmten Prozessen freigesetzt wird. Als solcher wird er behandelt und im Rahmen des Europäischen Emissionshandels (EU-ETS) wird die CO<sub>2</sub>-Emission nach dem Verursacherprinzip mit einem Preis versehen.

**In einer treibhausgasneutralen Welt sind CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Einsatz fossiler Energieträger und Rohstoffe nicht mehr zulässig.** Dies bedeutet für einige Branchen wie die Petrochemie, die Chemie und auch die Kunststoffproduktion, dass sie vollständig auf synthetisch hergestellte oder biogene Kohlenwasserstoffe als Rohstoffe umsteigen müssen, um den Anforderungen an treibhausgasneutrale Produktion und Produkte gerecht zu werden. **Der hierfür benötigte Kohlenstoff muss aus „erneuerbaren“ Quellen stammen.** Dies ist der Fall, wenn er als CO<sub>2</sub> aus Direct Air Capture (DAC) stammt, aus biogenen Quellen gewonnen wird oder, wenn er unabhängig von seiner ursprünglichen Herkunft über Recyclingverfahren im Kreislauf gehalten wird. Letzteres ist auch für unvermeidbare CO<sub>2</sub>-Emissionen aus industriellen Prozessen oder der thermischen Abfallbehandlung möglich, wenn das CO<sub>2</sub> im Prozess abgetrennt und einer Nutzung zugeführt wird. Hierfür muss dann sichergestellt werden, dass CO<sub>2</sub> durch einen geschlossenen Kreislauf nicht mehr an die Atmosphäre abgegeben werden kann. Falls dies bei synthetischem Kraftstoff wie Kerosin nicht möglich ist, muss CO<sub>2</sub> in Höhe der freigesetzten Menge über DACCS der Atmosphäre wieder entzogen und dauerhaft gespeichert werden.

**Synthetische Kohlenwasserstoffe werden aus Wasserstoff und CO<sub>2</sub> gewonnen, so dass CO<sub>2</sub> vom Abfallstoff zum Rohstoff wird.** Um diese Art des CCU am Ort der Entstehung bzw. Abtrennung des CO<sub>2</sub> nutzen zu können, werden vor Ort große Mengen grünen Wasserstoffs und eine ausreichende erneuerbare Stromversorgung benötigt. **Für eine breite Nutzung von CCU in Baden-Württemberg ist somit ein stark forcierter Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung, der Stromnetzinfrastrukturen, aber insbesondere auch der Wasserstoffversorgung über Pipelineinfrastrukturen zwingend.**

Die CO<sub>2</sub>-Nutzungsmöglichkeiten sind nicht allein auf die Produktion von synthetischen Kohlenwasserstoffen beschränkt, auch wenn diese für die Defossilisierung von Produkten und Produktionsprozessen eine zentrale Rolle spielen. **CO<sub>2</sub> kann sehr vielfältig eingesetzt werden** – von den heutigen Anwendungsfeldern in der Karbonisierung von Getränken, dem Einsatz als Kältemittel oder als Löschmittel über neuartige Mineralisierungsverfahren zur Schlackenbehandlung bis zum bereits erwähnten Einsatz als Rohstoff für die Herstellung von Grund- und Feinchemikalien und Polymeren. Die meisten Verfahren befinden sich noch in der Entwicklung, teilweise auch noch in sehr frühen Phasen. Ohne sie wird man aber mittel- bis langfristig nicht auf fossile Roh-, Brenn- und Treibstoffe verzichten können. **Um die erforderliche Rohstoffbasis für den Kohlenstoff in synthetischen Kohlenwasserstoffen in Zukunft zu sichern, sind zwingend und zeitnah CCU-Konzepte für Baden-Württemberg zu entwickeln.**

Damit CCU aber nicht nur eine rein zeitliche Verschiebung der Freisetzung des CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre darstellt, müssen **geschlossene Kohlenstoffkreisläufe etabliert werden.** Denn im Rahmen der Nutzung wird CO<sub>2</sub> zunächst nur für die Produktlebensdauer gespeichert und könnte danach wieder in die Atmosphäre gelangen. Wird CO<sub>2</sub> beispielsweise aus dem Zementherstellungsprozess abgeschieden und mit Wasserstoff zu Methanol synthetisiert, aus dem dann Kunststoffe hergestellt werden, darf der Kunststoff nach seiner Nutzung nur stofflich oder chemisch recycelt werden, um die Bindung des CO<sub>2</sub> im Feststoff zu erhalten. Eine thermische Verwertung ist nur dann

zulässig, wenn auch in der Abfallverbrennungsanlage über eine CO<sub>2</sub>-Abscheidungseinrichtung sichergestellt werden kann, dass das bei der Verbrennung des Kunststoffes freigesetzte CO<sub>2</sub> nicht zu einem weiteren Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration beitragen kann. **Nur über das Schließen von Kohlenstoffkreisläufen kann bei der CO<sub>2</sub>-Nutzung eine über die temporäre Einbindung von Kohlenstoff hinausgehende Senkenfunktion erreicht werden.**

Die **dauerhafte Einlagerung des CO<sub>2</sub> (CCS)** erfolgt in Untertagespeichern, wobei nur Speicherverfahren zur Anwendung kommen dürfen, die eine erneute Diffusion des CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre zuverlässig verhindern. Neben dem Verpressen von CO<sub>2</sub> in unterirdische Lagerstätten, z. B. in ausgeförderte Öl- und Gaslagerstätten, andere geeignete geologische Formationen oder saline Aquifere ist auch die Nutzung von Verfahren zur beschleunigten Gesteinsverwitterung unter fester Bindung des CO<sub>2</sub> oder, in Verbindung mit vorhergegangenem Carbon Use, die Deponierung von festem Kohlenstoff, der als Reststoff beim chemischen Recycling anfällt, denkbar. Um die Anforderungen der Netto-Treibhausgasneutralität zu erfüllen, sind auch Kombinationen unterschiedlicher Nutzungspfade, Abscheidetechnologien und Speicheroptionen möglich und sinnvoll.

Für das Speichern von CO<sub>2</sub> sind geeignete Lagerstätten erforderlich. **Baden-Württemberg verfügt gemäß dem Projekt Speicher-Kataster Deutschland [SDGG, 2011] über Gesteinsformationen im Oberrheingraben und im südlichen Molassebecken, die potenziell als Speicher geeignet sein könnten.** Allerdings dürfte der Oberrheingraben trotz möglicher vorhandener Potenziale aufgrund der seismischen Aktivitäten und einer nachgewiesenen Permeabilität an Störungen für eine langfristige CO<sub>2</sub>-Speicherung ungeeignet sein. Zudem besteht eine potenzielle Nutzungskonkurrenz mit der Tiefengeothermie zur Wärmeversorgung, die aus Sicht des Klima-Sachverständigenrats klar zugunsten der Geothermie entschieden werden sollte.

Im südlichen Molassebecken weist das Speicher-Kataster ebenfalls mögliche Potenziale aus, die aber ohne eine weiterführende Untersuchung der Gesteinsformationen nicht abschließend bewertet werden können. Vor dem Hintergrund der in den Eckpunkten zur Carbon Management Strategie des Bundes [BMWK 2024a] angedeuteten Option der Eröffnung einer Opt-In-Option für die CO<sub>2</sub>-Speicherung an Land auf ausdrücklichen Wunsch der Bundesländer **muss Baden-Württemberg klar Stellung beziehen.** Aufgrund der großen Unsicherheiten bezüglich der tatsächlichen Eignung der Lagerstätten im Land, der langen Zeiträume für eine abschließende Erkundung und Erschließung sowie der **Nutzungskonkurrenzen mit der Tiefengeothermie rät der Klima-Sachverständigenrat allerdings davon ab, eine Speicherentwicklung in Baden-Württemberg zu forcieren.**

Hinsichtlich der Kapazitäten aktuell geplanter Speicherprojekte gibt der Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VdZ) bis 2030 eine Kapazität von etwa 30 Mio. t CO<sub>2</sub>/Jahr innerhalb der EU und ca. 50 Mio. t CO<sub>2</sub>/Jahr innerhalb Europas an [VdZ 2024]. Gerade vor dem Hintergrund dieser begrenzten verfügbaren Speicherkapazitäten darf CCS nur für die unvermeidbaren CO<sub>2</sub>-Emissionen genutzt werden.

Gemäß der in den Eckpunkten zur Carbon Management Strategie des Bundes [BMWK 2024a] genannten Präferenzen soll CO<sub>2</sub> aus Deutschland vorrangig unter der Nordsee gespeichert werden. Dies bedeutet für Baden-Württemberg, **dass CCS nur mit dem Aufbau einer entsprechenden CO<sub>2</sub>-Infrastruktur einsetzbar wird.**

Anders als für Wasserstoff ist für CO<sub>2</sub> in der Regel ein Neubau der Leitungsinfrastrukturen erforderlich. Zukünftig freiwerdende Erdgasleitungen können nicht ohne größere Umrüstungen bzw. Leitungsneubau in der bestehenden Trasse genutzt werden. Die Reduktionswirkung für den Treibhausgasausstoß aus unvermeidbaren CO<sub>2</sub>-Quellen durch CCS für Baden-Württemberg kann jedoch erst erzielt werden, wenn entsprechende Leitungsinfrastrukturen errichtet sind, die die unvermeidbaren CO<sub>2</sub>-Quellen in Baden-Württemberg mit sicheren Lagerstätten, beispielsweise unter der Nordsee, verbinden.

**CCS ist für Baden-Württemberg also keine kurzfristig einsetzbare Option, sondern es bedarf zeitnah einer intensiven Planung zur Identifikation der tatsächlich unvermeidbaren CO<sub>2</sub>-Quellen in Baden-Württemberg und wie deren Anbindung an eine langfristig sinnvoll dimensionierte Infrastruktur gestaltet werden könnte.** Dabei ist zu beachten, **dass Infrastrukturen ggf. auch für CCU benötigt werden**, weil beispielsweise das dezentral in Zementwerken erzeugte CO<sub>2</sub> zum Raffineriestandort nach Karlsruhe transportiert werden soll, um mit dem dort frühzeitig per Pipeline verfügbaren Wasserstoff zu chemischen Grundstoffen weiterverarbeitet zu werden.

Für die Infrastrukturdimensionierung sind des Weiteren die Planungen der Nachbarstaaten Frankreich, Österreich und der Schweiz sowie Bayern zu beachten, da Baden-Württemberg hier potenziell auch zum CO<sub>2</sub>-Transitland avancieren könnte. Die Schweiz plant beispielsweise bis 2050 die Speicherung von 7 Mio. tCO<sub>2</sub>, davon 4 Mio. tCO<sub>2</sub> in Lagerstätten im Ausland [Bundesrat CH, 2022], die potenziell über Pipelineverbindungen durch Baden-Württemberg in Richtung Nordsee transportiert werden sollen [E&M 2022].

**Hinsichtlich der technologischen Reife befinden sich viele Carbon-Capture-Technologien noch im Labormaßstab.** Im Bereich Zement befinden sich erste Pilot- und Demonstrationsanlagen im Bau, weitere Projekte im Industriemaßstab sind in der Planung [VdZ 2024], dennoch ist eine großtechnische Umsetzung voraussichtlich erst nach 2030 zu erwarten.

**Zur fehlenden technischen Reife kommt der erforderliche zusätzliche Energieaufwand für Carbon Capture hinzu.** Nach Angaben des Wuppertal Instituts [BUND 2014] steigt der kumulierte Energieaufwand eines Prozesses unter Berücksichtigung der gesamten CCS-Prozesskette um 34 %. Der VdZ gibt den deutschlandweiten Energiebedarf allein für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung in den Sektoren Zement, Kalk und Abfallverbrennung im Jahr 2030 für eine CO<sub>2</sub>-Abscheidung von 6,5 Mio. t CO<sub>2</sub>/Jahr mit 2,0 TWh/Jahr Strom und 2,2 TWh/Jahr (7.800 TJ/a) Wärme an [VdZ 2024]. Im Jahr 2040 werden für eine CO<sub>2</sub>-Abscheidung von 35,4 Mio. t CO<sub>2</sub>/Jahr deutschlandweit 9,5 TWh/Jahr Strom und 2,1 TWh/Jahr (7.600 TJ/Jahr) Wärme benötigt. Für Baden-Württemberg allein werden für das Jahr 2045 1,2 TWh/Jahr zusätzlicher Strombedarf und 2,6 TWh/Jahr (9.900 TJ/Jahr) Wärme ausgewiesen.

Da der Energieaufwand für Carbon Capture auch von der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration abhängt, ist die Abscheidung aus der Luft deutlich aufwändiger als die Abscheidung aus konzentrierten Rauchgasen. Nicht nur der zusätzliche Energieaufwand, sondern insbesondere auch der bauliche Aufwand verursacht **erhebliche zusätzliche Kosten**. Der VdZ gibt die CC-Kosten für Zementwerke in Deutschland mit 80-110 €/t CO<sub>2</sub> an. Hinzu kommen 35-60 €/t CO<sub>2</sub> für den Transport. Dieser Kostenanteil kann perspektivisch mit optimal ausgelasteten Pipelines auf 25 €/t CO<sub>2</sub> sinken. Die Kosten für die Speicherung werden mit 10-50 €/t CO<sub>2</sub> angegeben, so dass sich die Kosten laut auf 115-220 €/t CO<sub>2</sub> belaufen [VdZ 2024]. Diese dürften sich gerade zu Beginn eher am oberen Ende der Bandbreite bewegen.

Wie hoch die Kosten für die Installation von Abscheideeinrichtungen für die unterschiedlichen unvermeidbaren industriellen CO<sub>2</sub>-Emissionen und die Emissionen aus der Abfallverwertung tatsächlich sein werden, bleibt offen. **In jedem Fall sind diese Zusatzkosten nur zu rechtfertigen, wenn es sich um Emissionen handelt, die tatsächlich unvermeidbar sind** – dies gilt sowohl innerhalb des Entstehungsprozesses (z. B. Kalkbrennen) als auch für den Prozess selbst (z. B. teilweiser Ersatz von Zement als Baustoff durch Holz).

**Weiterhin sind auch die potenziell negativen Umweltwirkungen von CCS zu thematisieren.**

Der Evaluierungsbericht der Bundesregierung zum Kohlendioxid-Speicherungsgesetz (KSpG) [Bundesdrucksache 20/5145 2022] bildet den neusten Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse ab: Als Umweltrisiken der geologischen Speicherung gelten insbesondere der **Austritt von CO<sub>2</sub> oder salzreichem Formationswasser aus dem Speichergestein entlang von undichten Bohrungen oder Störungen**. Dies kann oberflächennahes Grundwasser beeinträchtigen. Löst sich CO<sub>2</sub> im Grundwasser kann sich Kohlensäure bilden, wodurch der pH-Wert absinken und das Grundwasser versauern kann, was wiederum Mineralien, Spurenelemente oder Schwermetalle lösen kann, die sich im oberflächennahen Grundwasser anreichern können. Zudem kann es auch zur Versalzung des oberflächennahen Grundwassers und des Bodens kommen. **Dies ist auch bei einer Lagerung des CO<sub>2</sub> unter dem Meer möglich, was marine Ökosysteme beeinträchtigen kann**. Austretendes salzreiches Formationswasser wird zwar in der Nordsee vermutlich ohne gravierendere Umweltauswirkungen rasch verdünnt, es könnten sich aber Schadstoffe im Sediment oder in Meeresorganismen anreichern. Auch seismische Ereignisse sind in Folge der Injektion von CO<sub>2</sub> möglich.

Zudem sei darauf hingewiesen, dass **auch die Erfahrungen aus dem norwegischen Sleipner-Projekt** – dem weltweit ersten kommerziellen CCS-Projekt – **nur einen Zeitraum von 28 Jahren umfassen. Dies ist angesichts der Ewigkeitsaufgabe der CO<sub>2</sub>-Speicherung nur ein ausgesprochen kurzes Zeitfenster**, aus dem sich potenziell noch keine vollständigen Erkenntnisse zu den Langzeitherausforderungen ableiten lassen.

## 3 Carbon Management

### 3.1 Carbon Management – Was bedeutet das?

Im Rahmen des Carbon Managements müssen verschiedene Dimensionen des Klimaschutzes und der Treibhausgasemissionsminderung zusammengeführt werden. Ein sehr gutes Beispiel liefert hier Nordrhein-Westfalen, das in seiner Carbon Management Strategie konkrete Leitlinien formuliert, wie Carbon Removal aktiv zum Erreichen der Klimaschutzziele in Nordrhein-Westfalen beitragen soll [Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen 2021]. Der Klima-Sachverständigenrat befürwortet diese Leitlinien in ähnlicher Form auch für Baden-Württemberg und formuliert diese wie folgt:

- **Dekarbonisierung, d. h. der vollständige Verzicht auf Kohlenstoff ist vor allem in der Energieversorgung nicht nur möglich, sondern der am schnellsten umsetzbare und kosteneffizienteste Weg.** Dieser ist konsequent zu verfolgen und der Kohleausstieg in Baden-Württemberg bis 2030 vollumfänglich umzusetzen. Dies wird durch den dynamischen Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung aus Windenergie und Photovoltaik und den Bau von neuen H<sub>2</sub>-ready Gaskraftwerken ermöglicht, die von Erdgas auf Wasserstoff umgestellt werden, sobald Wasserstoff per Pipeline in Baden-Württemberg verfügbar ist. Die Kraftwerke zur Stromerzeugung sichern als Ankerkunden den zügigen Ausbau ebenso wie die frühe Umwidmung von Teilen des Erdgasnetzes auf Wasserstoff ab. Diese oder weitere zukünftig erforderliche neue Back-Up-Kraftwerke in Baden-Württemberg als Erdgaskraftwerke mit CCS zu planen, ist aufgrund der hohen Mehrkosten und der geringen Laufzeiten der Back-up-Kraftwerke **wirtschaftlich nicht darstellbar** und nach Aussagen von Kraftwerksbetreibern auch technisch nicht umsetzbar. Mit den Transformationsplänen für die Erdgasinfrastruktur bis 2040 ist zudem sichergestellt, dass die in Baden-Württemberg erforderlichen Gaskraftwerke spätestens ab 2040 mit grünem Wasserstoff versorgt werden. **Das Carbon Management für Baden-Württemberg darf daher keine CO<sub>2</sub>-Abscheidung für Kraftwerke der Energieversorgung zulassen.** Blauer Wasserstoff, der am Ort der Erdgasgewinnung mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung hergestellt wird, darf darüber hinaus nur so lange eingesetzt werden, bis hinreichende Produktionskapazitäten für grünen Wasserstoff zur Verfügung stehen.
- **Defossilisierung: In den Bereichen, die auch zukünftig auf Kohlenstoffe angewiesen sind, steht die Erschließung von Alternativen zu fossilen Kohlenstoffquellen** vor allem über Sekundärrohstoffe, in Teilen über erneuerbare Rohstoffe, aber auch über Carbon Capture im Vordergrund.
- **Erfassung der erforderlichen Segmente für ein Carbon Management und konsequentes Monitoring der Fortschritte auf dem Weg zur Netto-Treibhausgasneutralität.** Hierzu sind die unvermeidbaren CO<sub>2</sub>-Quellen zu erfassen, in ihrer Höhe zu bewerten und die zu deren Kompensation erforderliche Senkenleistung auszuweisen sowie die genutzten

Senken zu erfassen. Daneben ist zu analysieren, in welchen Anwendungsbereichen CO<sub>2</sub> zukünftig in welchen Mengen benötigt wird. Das CO<sub>2</sub> für diese Anwendungen kann über Carbon Capture aus **unvermeidbaren CO<sub>2</sub>-Quellen** oder **DAC** gewonnen werden.

- **Für die Treibhausgasneutralität von CCU sind die Herkunft und der Verbleib des genutzten Kohlenstoffs entscheidend.** Bilanzierungssysteme sind so aufzubauen, dass sie dies entsprechend berücksichtigen.
- **Ohne CO<sub>2</sub>-Infrastruktur sind CCS und CCU für Baden-Württemberg nicht nutzbar.** Mögliche Transportlösungen und Infrastrukturoptionen sind parallel zur Schaffung des regulatorischen Rahmens auf Bundesebene zu analysieren, um zeitnah in die Infrastrukturplanung einsteigen zu können um dauerhaft tragfähige, treibhausgasneutrale Lösungen für die unvermeidbaren Emissionen der Industrie und der thermischen Abfallverwertung in Baden-Württemberg anzubieten.
- **CO<sub>2</sub>-Speicherung als technische Senke ist der letzte Baustein zur Treibhausgasneutralität. Lock-in-Effekte sind zwingend zu vermeiden.**

CCS ist ein unerlässlicher Baustein für das Erreichen der Netto-Treibhausgasneutralität, dennoch ist die Abscheidung und langfristige Speicherung ausdrücklich nicht gleichwertig zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung, denn

- die CO<sub>2</sub>-Abscheidung ist energie- und damit kostenintensiv,
- Carbon Capture erlaubt keine vollständige CO<sub>2</sub>-Reduktion, es verbleiben immer CO<sub>2</sub>-Restemissionen, die über natürliche Senken oder über BECCS/DACCS ausgeglichen werden müssen,
- die langfristige CO<sub>2</sub>-Speicherung bleibt eine risikobehaftete Ewigkeitsaufgabe.

**Ein Carbon Management muss die genannten Themen vollständig abbilden, natürliche und technische Kohlenstoffkreisläufe einbeziehen und regulatorisch flankieren (Abb. 1).**

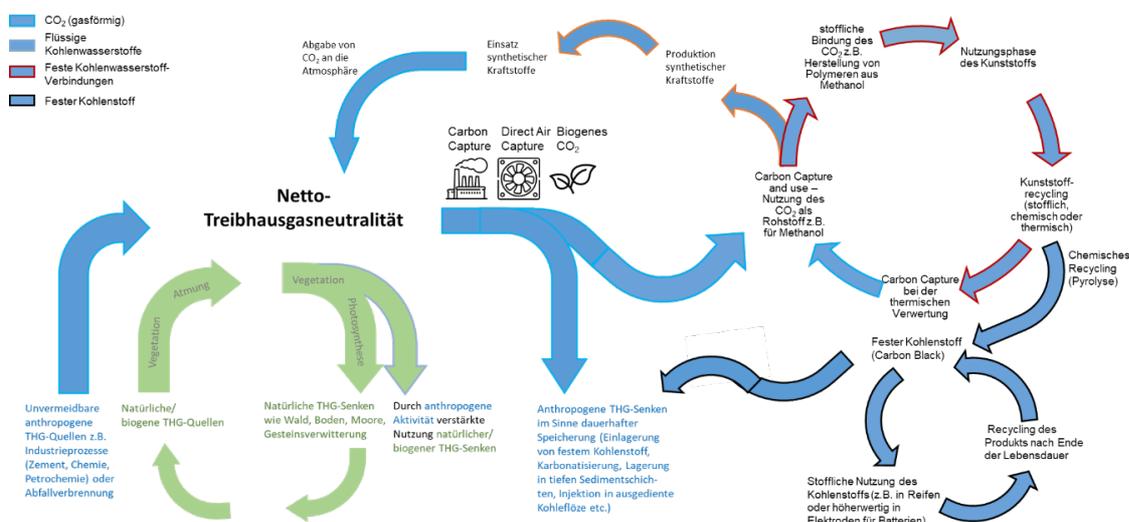


Abbildung 1: In einem Carbon Management abzubildende Kohlenstoffflüsse [Eigene Darstellung].

Neben den technischen Quellen und Senken muss das Carbon Management auch die natürlichen Quellen und Senken berücksichtigen und deren Entwicklung nicht nur beobachten, sondern gezielt mit Maßnahmen langfristig steuern.

### 3.2 Carbon Management in der Energiewirtschaft

In der Energiewirtschaft wird Carbon Capture benötigt, um bis 2040 eine treibhausgasneutrale Energieversorgung in Baden-Württemberg zu realisieren. **Dabei zählen Kraftwerke wie Kohle- oder Erdgaskraftwerke, die fossile Brennstoffe einsetzen, ausdrücklich nicht zu den Anwendungsbereichen für CCS**, auch wenn diese im Entwurf der Carbon Management Strategie der EU als solche adressiert werden [European Commission 2024]. Gerade vor dem Hintergrund des im Vergleich zur EU um zehn Jahre vorgezogenen Ziels der Netto-Treibhausgasneutralität scheidet diese Möglichkeit für Baden-Württembergs Kraftwerkspark bereits aus Geschwindigkeitsgründen aus. Die erforderliche Dynamik für die Dekarbonisierung der Strom- und Fernwärmebereitstellung kann nur mit den Technologien zur erneuerbaren Stromerzeugung, erneuerbaren Wärmebereitstellung und dem Einsatz von grünem Wasserstoff, sobald dieser in Baden-Württemberg per Fernleitung zur Verfügung steht, realisiert werden. Denn dies sind technisch ausgereifte, kosten- und energieeffiziente Alternativtechnologien, die am Markt zur Verfügung stehen. Gerade im Bereich der Großkraftwerke wurden bereits Investitionsentscheidungen zur Realisierung des Kohleausstiegs noch deutlich vor 2030 über H2-Ready-Kraftwerke getroffen.

Hinzu kommt, dass die Kraftwerke zur Stromerzeugung aus Wasserstoff als Ankerkunden den zügigen Ausbau ebenso wie die frühe Umwidmung von Teilen des Erdgasnetzes auf Wasserstoff absichern und damit auch den Zugang der Industrie zu Wasserstoff ermöglichen, was ein wichtiger Standortfaktor für Baden-Württemberg ist. Mit den Transformationsplänen für die Erdgasinfrastruktur bis 2040 ist zudem sichergestellt, dass die in Baden-Württemberg erforderlichen Gaskraftwerke spätestens ab 2040 mit grünem Wasserstoff versorgt werden. Somit ist für Baden-Württemberg anders als in den Eckpunkten zur Carbon Management Strategie des Bundes [BMWK 2024a] CCS aus Erdgaskraftwerken konsequent auszuschließen.

## Energiewirtschaft

### Treibhausgasemissionen

in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a

- Diffuse Emissionen
- Raffinerien
- Fernwärmeerzeugung
- Stromerzeugung
- ▨ Abscheidung

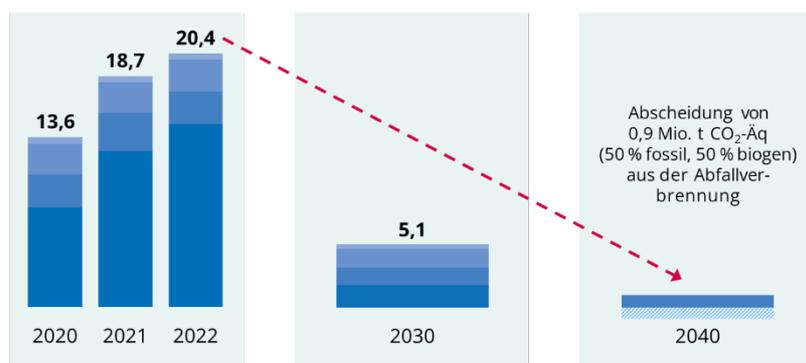


Abbildung 2: Zur Zielerreichung gemäß dem KlimaG BW erforderliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Energiewirtschaft inkl. CCS im Jahr 2040 [Quelle: K-SVR 2023].

**Dennoch werden im Sektor Energiewirtschaft mit Blick auf 2040 noch Restemissionen aus der Abfallverbrennung bestehen** (Abbildung 2). Daher ist für die Energiewirtschaft, zu der auch der Raffineriebereich zählt, ein Carbon Management essenziell. Darin müssen Anreize für die Entwicklung der Technologie für Carbon Capture für die Abfallverbrennung enthalten sein, um sicherzustellen, dass die Restemissionen aus der thermischen Abfallverwertung spätestens im Jahr 2040 nicht mehr in die Atmosphäre freigesetzt werden. Ob das CO<sub>2</sub> aus der Abfallverbrennung als Roh- oder Hilfsstoff für andere Produktionsverfahren zum Einsatz kommen kann, welche Verfahren und Produktionsstätten dies sein werden und wie eine Belieferung mit dem CO<sub>2</sub> aus der Abfallwirtschaft erfolgen könnte oder ob die Abfallverbrennungsanlagen zwecks Speicherung des emittierten CO<sub>2</sub> an eine CO<sub>2</sub>-Infrastruktur angeschlossen werden muss, ist im Rahmen des Carbon Managements zu klären. Bei Anlagen der Thermischen Abfallbehandlung (TAB) ist zudem zu berücksichtigen, dass je nach Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung unterschiedliche Mengen an Wärmeenergie für den Prozess erforderlich sind, die dann nicht mehr für eine Auskopplung in ein Fernwärmenetz zur Verfügung stehen. Je nach Bedeutung der Wärmeauskopplung für die Nutzung in Wärmenetzen sollten angepasste Abscheidungsverfahren optimiert und eingesetzt werden.

**Gleichzeitig ist Carbon Capture auch für die Raffinerien ein wichtiges Thema, da hier prozessbedingt CO<sub>2</sub> freigesetzt wird.** Wie hier der Kohlenstoffkreislauf geschlossen werden kann, wie sich dies bei der Verarbeitung von synthetischen und biogenen Rohstoffen regulatorisch darstellt, deren CO<sub>2</sub> zuvor aus der Atmosphäre abgeschieden wurde, ist dabei ebenso zu klären, wie der weitere Umgang mit dem potenziell abgeschiedenen CO<sub>2</sub>. Dieses könnte vor Ort in entsprechenden Prozessen genutzt werden oder – falls eine Speicherung angestrebt wird – wäre die Anbindung an eine CO<sub>2</sub>-Pipeline-Infrastruktur erforderlich.

Weitere potenziell auch die Energiewirtschaft betreffende Aspekte liegen ggf. noch in der energetischen Nutzung von Biomasse und den Möglichkeiten, **die sich durch die Anwendung von Carbon Capture für negative CO<sub>2</sub>-Emissionen bieten könnten.** Diese wären im Rahmen eines Carbon Managements zu beleuchten und die Nutzbarkeit für Baden-Württemberg wäre zu bewerten.

### 3.3 Carbon Management in der Industrie

Auch für die Energieversorgung der Industrie in Baden-Württemberg gilt, dass die Dekarbonisierung nicht nur möglich, sondern auch der schnellste und kosteneffizienteste Weg ist, nicht nur treibhausgasneutral zu produzieren, sondern auch treibhausgasneutrale Produkte anbieten zu können. Allerdings ist insbesondere die energieintensive Industrie, die hohe Prozesstemperaturen benötigt, für das Erreichen der Netto-Treibhausgasneutralität auf die Verfügbarkeit von treibhausgasneutralem Wasserstoff angewiesen. **Wenn Baden-Württemberg diese Industrie halten möchte, ist es daher umso entscheidender, die zeitnahe Verfügbarkeit von Wasserstoff sicherzustellen.**

## Industrie

### Treibhausgasemissionen

in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a

- F-Gase
- Prozessbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen
- Industriemaschinen
- Verarbeitendes Gewerbe
- Industriekraftwerke
- ▨ Abscheidung

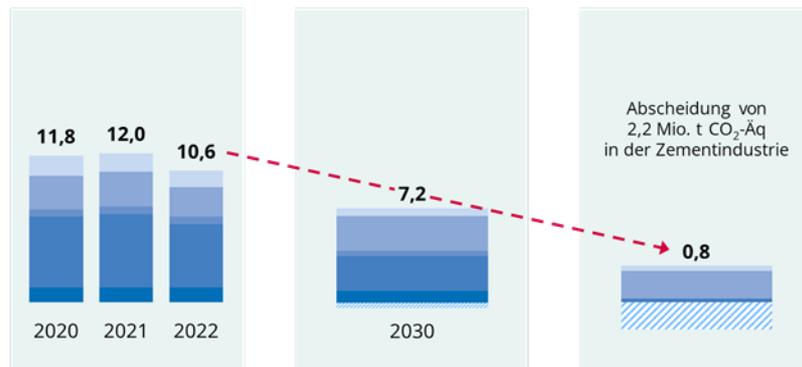


Abbildung 3: Zur Zielerreichung gemäß dem KlimaG BW erforderliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Industrie inkl. CCU/CCS im Jahr 2040 [Quelle: K-SVR 2023].

Damit die Industrie Investitionen für die Dekarbonisierung ihrer Produktionsprozesse tätigt, benötigt sie vor allem Planungssicherheit. Ohne Planungssicherheit keine Investitionen - dies gilt gleichermaßen für die **Vermeidung und Reduktion prozessbedingter Emissionen**, die sich in Teilen weitaus schwieriger darstellt als die Energieträgerumstellung zur Vermeidung energiebedingter Emissionen.

Am Beispiel der Zementindustrie kann dies exemplarisch gezeigt werden. Hier stammt aktuell ein Drittel der Emissionen aus den eingesetzten Brennstoffen. Diese könnten beispielsweise über den Einsatz von grünem Wasserstoff vermieden werden. Zwei Drittel der CO<sub>2</sub>-Emissionen werden jedoch innerhalb des Kalkbrennprozesses vom Gestein freigesetzt und sind somit unvermeidbar. Zwar kann die Gesamtbilanz des Zements über verschiedene Ansätze wie die Verringerung des Klinkeranteils in Summe noch etwas reduziert werden, eine vollständige Vermeidung ist jedoch ausgeschlossen. Anders als bei der Stahlherstellung, bei der der herkömmliche CO<sub>2</sub>-intensive Produktionspfad der Hochofen-Konverter-Route durch eine Direktreduktion mit Wasserstoff ersetzt werden und damit eine nahezu treibhausgasneutrale Primärstahlerzeugung umgesetzt werden kann, gibt es keine treibhausgasneutralen Alternativverfahren für die Herstellung von Zement. Solange Zement als Baustoff benötigt wird, werden erhebliche Mengen CO<sub>2</sub> als Prozessemission entstehen [VdZ 2020].

Um dennoch ihrer Verantwortung für den Klimaschutz gerecht zu werden, setzt sich die Zementindustrie sehr intensiv mit den Möglichkeiten der CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus dem Produktionsprozess auseinander. In Baden-Württemberg ist hier das Projekt Catch4Climate hervorzuheben. Am Standort des Zementherstellers Schwenk in Mergelstetten wird eine Pilotanlage umgesetzt, mit der ein Konsortium aus vier großen Zementherstellern (Buzzi Unicem SpA – Dyckerhoff GmbH, HeidelbergCement AG, SCHWENK Zement GmbH & Co. KG und Vicat S.A.) die CO<sub>2</sub>-Abscheidung erprobt.

Je nach Standortbedingungen ist zu prüfen, ob die Etablierung einer Abscheidung der prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen weiterhin den Einsatz von Sekundärbrennstoffen wie Kunststoffabfällen ermöglicht, weil eine gemeinsame Abscheidung von prozess- und energiebedingten Emissionen aus dem gleichen Abgasstrom erfolgt. Dies könnte es erlauben, in der Zementherstellung weiterhin

kohlenstoffhaltige Energieträger einzusetzen, die gerade in Form von Abfällen heute in sehr großen Mengen in der Zementproduktion zur Energiegewinnung genutzt werden. Bei vorhandener Carbon-Capture-Technologie können zudem die biogenen Anteile der eingesetzten Sekundärbrennstoffe als Negativemissionen erschlossen werden. [Kelm et al. 2022].

Im Rahmen des Carbon Managements ist insbesondere für die Zementindustrie aber auch für die anderen Industriezweige mit unvermeidbaren CO<sub>2</sub>-Emissionen zu klären, unter welchen Bedingungen und an welchen Standorten eine Weiterverarbeitung des abgeschiedenen CO<sub>2</sub> für CCU-Anwendungen möglich ist und wie die Anbindung der Standorte an eine CO<sub>2</sub>-Infrastruktur erfolgen soll.

**Gerade für einen erfolgreichen Roll-Out von CCU fehlt jedoch der regulatorische Rahmen.**

Theoretisch könnte das abgeschiedene CO<sub>2</sub> einer Nutzung im Sinne von CCU zugeführt werden, beispielsweise zur Produktion von Methanol als Basis für die Kunststoffproduktion. Der erforderliche regulatorische Rahmen, der vorgibt, wie eine Kreislaufführung des aus dem CO<sub>2</sub> gewonnenen Kohlenstoffs erzielt wird, sodass nicht am Ende der Nutzungsphase CO<sub>2</sub> wieder an die Atmosphäre abgegeben wird, ist jedoch nicht vorhanden. Auch der Entwurf der Carbon Management Strategie der EU lässt dies bislang offen. Erste Ansätze sind im Delegierten Rechtsakt zu Art. 28 RED II enthalten, die jedoch die Nutzung von CO<sub>2</sub> aus unvermeidbaren CO<sub>2</sub>-Quellen für die Produktion von synthetischen Kraftstoffen nur bis 2040 zulassen, weil Elemente einer CO<sub>2</sub>-Kreislaufführung oder bilanzielle Kompensation in diesem Delegierten Rechtsakt nicht berücksichtigt sind [COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2023/1185]. Hier sollte ein Carbon Management auf Landesebene nicht nur für Klarheit sorgen, sondern auch klare Forderungen zur Ausgestaltung des Rechtsrahmens an die EU und Deutschland stellen, um die eigenen schnellen Klimaschutzfortschritte bei gleichzeitiger Wahrung der Wettbewerbsfähigkeit für die baden-württembergischen Unternehmen realisierbar zu machen.

**Wichtig ist hier eine starke Vertretung der Interessen der Industrieunternehmen aus Baden-Württemberg auf Bundesebene.**

Dies betrifft den Zugang zu grünem Wasserstoff, zu erneuerbarem Strom und den Ausbau der Infrastrukturen ebenso wie Aspekte der Chancengleichheit im internationalen Wettbewerb. Im Fokus stehen sollten dabei insbesondere die Transformation der energieintensiven Industrie zur klimaneutralen Produktion und die Eröffnung neuer Chancen für den Maschinen- und Anlagenbau, mit neuen Technologien neue Märkte zu erschließen. Hierzu zählen auch Technologien aus der CO<sub>2</sub>-Abscheidung wie DAC oder der CO<sub>2</sub>-Nutzung wie Methanol-Synthese-Verfahren.

**Für schnelle Fortschritte beim Klimaschutz sollten zudem gezielt bestehende Netzwerke und die regionale Verflechtung der Unternehmen genutzt werden, um die Transformation durch gezielten Know-How-Aufbau, Wissenstransfer und Beratung zu unterstützen.**

Hier sollten zielgerichtet die Verbände der energieintensiven Branchen angesprochen und die Zusammenarbeit gesucht werden, damit die Unterstützung passgenau gewährt wird und schnelle Fortschritte anstelle von überbordender Bürokratie bei der Beantragung von Fördermitteln treten. Dies muss auch für den Einsatz von CCU und CCS und deren Abbildung im Carbon Management des Landes gelten.

**Mit dem Carbon Management** sind die zukünftigen Bedarfe für CO<sub>2</sub> als Roh- und Hilfsstoff und als Basis für synthetische Kohlenwasserstoffe in der baden-württembergischen Industrie ebenso zu ad-

ressieren wie die Bedarfe einzelner Branchen wie der Zementindustrie und der Abfallwirtschaft, unvermeidbare CO<sub>2</sub>-Emissionen entweder in eine Kreislaufnutzung zu überführen oder langfristig zu speichern. Daher müssen neben den natürlichen und technischen Senken insbesondere Transportinfrastrukturen geplant und deren Errichtung forciert werden.

### 3.4 Carbon Management in der Landwirtschaft und im LULUCF-Bereich

Weitere wichtige Sektoren mit Blick auf die Entwicklung eines Carbon Managements für Baden-Württemberg sind die Landwirtschaft als der verbleibende Hauptemittent für CO<sub>2</sub> und weitere Treibhausgase im Jahr 2040 (Abbildung 4 links) und der LULUCF-Sektor, der über die natürlichen Senken letztlich das Erreichen des Ziels der Netto-Treibhausgasneutralität in Baden-Württemberg sicherstellen soll (Abbildung 4 rechts).

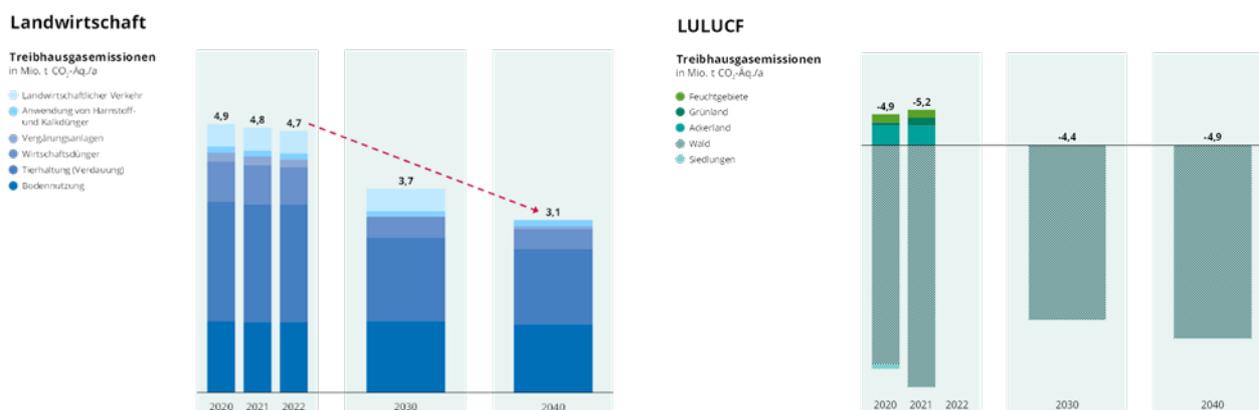


Abbildung 4: Zur Zielerreichung gemäß dem KlimaG BW erforderliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft und im LULUCF-Sektor unter Berücksichtigung der natürlichen Senken im Jahr 2040 [Quelle: K-SVR 2023].

**Für die Landwirtschaft** geht es zunächst darum, systematisch zu bewerten, ob und wenn ja welche Treibhausgasminderungspotenziale beispielsweise durch gezielte und reduzierte Düngung, Carbon Farming, Humusaufbau oder andere Konzepte zur langfristigen Kohlenstoffspeicherung in Böden erschlossen werden können. Sollten sich diese in der Gesamtbewertung als positiv herausstellen – die Gesamtbewertung muss auch potenzielle Konflikte mit Biodiversitäts- und Nachhaltigkeitszielen (wie sie Falle eines Ausbaus der Bioenergienutzung kaum vermeidbar sind) und anderen wichtigen Ökosystemleistungen, wie der Regulierung des Wasserhaushalts berücksichtigen – sind entsprechende Anreizsysteme zu entwickeln, die die Erschließung der Potenziale ermöglichen.

**Für den LULUCF-Sektor ist es wichtig, langfristig nicht nur die Aufrechterhaltung, sondern auch eine Ausweitung der unterschiedlichen natürlichen Treibhausgassenken in und für Baden-Württemberg zu gewährleisten.** Die größte natürliche Treibhausgassenke in Baden-Württemberg ist der Wald. Hier ist es entscheidend, nicht nur für die Forstwirtschaft Anreize zu bieten, die Entwicklung langfristig klimastabiler Wälder zu beschleunigen, sondern eine breite Unterstützung für den forstwirtschaftlichen Auf- und Umbau klimawandelresilienter Wälder zu sichern. Darüber hinaus sollte das Carbon Management auch ein klimawandelbezogenes Risiko-

und Krisenmanagement adressieren, das sich der langfristigen Aufrechterhaltung der Treibhausgasenkenleistung baden-württembergischer Wälder widmet und für den Fall von gravierenden Ausfällen der natürlichen Senken Maßnahmen vorhält, um die Gesamtbilanz Baden-Württembergs netto-treibhausgasneutral zu halten. Vor diesem Hintergrund sollte auch die Forschung zur Entwicklung von natürlichen Störungen (Windwurf, Käferkalamitäten, Trockenheit) unter den für Baden-Württemberg projizierten Klimawandelbedingungen intensiviert werden, da bessere Kenntnisse in diesem Bereich ein wichtiger Hebel für eine langfristige Verbesserung der Abschätzbarkeit der Treibhausgasenkenleistung baden-württembergischer Wälder sind.

**Neben dem Wald spielen auch Moore als natürliche CO<sub>2</sub>-Senke eine Rolle, wobei diese in Baden-Württemberg aufgrund der geringen Flächenanteile und der langen Zeiträume bis zum Einsetzen der Treibhausgasenkenwirkung nach Wiedervernässung sehr überschaubar ist.**

Da aber gerade mit der Wiedervernässung von Mooren potenziell positiv verstärkende Effekte auf die Biodiversitätsziele und andere wichtige Ökosystemleistungen, wie der Regulierung des Wasserhaushalts hat, sollte als Teil oder Maßnahme eines Carbon Managements die Erarbeitung einer präzisen Einschätzung des Treibhausgasminderungspotenzials, das mit der Wiedervernässung von Mooren verbunden ist, implementiert werden. Hierbei geht es zunächst darum, systematisch zu bewerten, ob und wenn ja, welche Treibhausgasminderungspotenziale durch die Wiedervernässung von Mooren erschlossen werden können. Sollten sich diese in der Gesamtbewertung unter Berücksichtigung von komplementären Zielen wie Biodiversität oder Wasserhaushalt in Summe als positiv herausstellen, muss sofort eine massive Ausweitung des Zukaufs entsprechender Flächen erfolgen und unmittelbar mit der Wiedervernässung begonnen werden, da das CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial bei Wiedervernässung erst langfristig gehoben werden kann.

**Das Carbon Management sollte hinsichtlich der natürlichen Senken das klare Ziel verfolgen, diese nicht nur zu schützen, sondern über gezielte Maßnahmen auch deren Ausweitung zu unterstützen, um die Resilienz des Ökosystems gegenüber dem Klimawandel zu stärken.**

## 4 Anregungen für den weiteren Prozess zur Entwicklung des Carbon Managements auf Landesebene

**Baden-Württemberg benötigt ein definiertes und fokussiertes Carbon Management**, um im nationalen und internationalen Kontext Einfluss auf die regulatorischen Weichenstellungen nehmen zu können und damit seinem Anspruch Baden-Württemberg „zum Klimaschutzland als internationaler Maßstab“ zu entwickeln, nicht nur gerecht zu werden, sondern die angestrebte Vorreiterrolle auch aktiv ausüben zu können.

Die Entwicklung des Carbon Managements bedarf neben der Erarbeitung einer **wissenschaftlich fundierten Basis** auch eines **intensiven Diskussionsprozesses**. Denn die **Bedenken gegenüber Carbon Capture and Storage**, die sich nicht zuletzt in einer bislang sehr restriktiven Gesetzgebung in Deutschland und in denjenigen Bundesländern ausdrücken, die über potenziell geeignete Lagerstätten verfügen, sind bislang nicht ausgeräumt, auch wenn sich Positionen verändert haben.

**Aus Sicht des Klima-Sachverständigenrats ist es deshalb zwingend notwendig, zu diesem Thema einen landesweiten Dialogprozess einzuleiten.** Im Dialogprozess sollten neben den **Interessen der Industriezweige**, die ohne CCU oder CCS nicht treibhausgasneutral produzieren können, auch diejenigen Industriezweige vertreten sein, die zukünftig auf CO<sub>2</sub> als Rohstoff angewiesen sein werden. Diese **Abnehmerseite für CO<sub>2</sub> aus CCU-Prozessen** muss eine besondere Verantwortung für das Schließen des Kohlenstoffkreislaufs tragen und daher in die Diskussion des erforderlichen Regelwerks aktiv eingebunden werden.

Neben der Industrie sind auch **zivilgesellschaftliche Akteure wie Umwelt- und Naturschutzverbände und Gewerkschaften** einzubinden. Hier sind die Risiken von CCS, auch wenn sie aufgrund der voraussichtlich weiterhin ausgeschlossenen Nutzung von Lagerstätten im Land die Bevölkerung in Baden-Württemberg nicht unmittelbar betreffen, intensiv zu diskutieren. Gerade unterschiedliche Positionen sollten hier aktiv abgefragt, in den Diskussionsprozess eingebunden und intensiv abgewogen werden, **um eine konsensfähige Strategie zu entwickeln, die nicht nur von der Industrie, sondern auch von einer breiten Mehrheit der Bevölkerung unterstützt** werden kann. Diese Unterstützung wird zwingend benötigt, denn CCS ist ohne den Bau von Infrastrukturen für Baden-Württemberg nicht nutzbar. Dieser muss durch die Bevölkerung mitgetragen, akzeptiert und unterstützt werden.

Des Weiteren sind die **Akteure, die Einfluss auf die Entwicklung der natürlichen Treibhausgasen nehmen können**, in den Dialogprozess einzubinden, um ein gemeinsames Verständnis zur Förderung und Nutzung der natürlichen Senken zu entwickeln und falls erforderlich Anreiz- und Vergütungssysteme zu entwickeln, die nicht nur akzeptiert, sondern aktiv angenommen werden.

## 5 Literaturverzeichnis

**BMWK 2024a.** Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Eckpunkte der Bundesregierung für eine Carbon Management-Strategie. Berlin. 26.02.2024.

**BUND 2014.** Online-Veröffentlichung CCS - Feigenblatt "saubere Kohle". Zuletzt abgerufen am 15.03.2024; abrufbar unter <https://www.bund-nrw.de/braunkohle/hintergruende-und-publikationen/braunkohlenkraftwerke-contra-klimaschutz/feigenblatt-ccs/>

**Bundesdrucksache 20/5145 2022.** Deutscher Bundestag. Drucksache 20/5145. 20. Wahlperiode. 22.12.2022. Unterrichtung durch die Bundesregierung. Evaluierungsbericht der Bundesregierung zum Kohlendioxid-Speicherungsgesetz.

**Bundesrat CH 2022.** CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung (CCS) und Negativemissionstechnologien (NET) Wie sie schrittweise zum langfristigen Klimaziel beitragen können. Bericht des Bundesrats, Bern. 18.05.2022.

**COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2023/1185. Brüssel, 10.02.2023.** online abrufbar unter [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L\\_.2023.157.01.0020.01.ENG&toc=OJ%3AL%3A2023%3A157%3ATOC](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2023.157.01.0020.01.ENG&toc=OJ%3AL%3A2023%3A157%3ATOC)

**E&M 2022.** Energie & Management. CO<sub>2</sub>-Transport von der Schweiz nach Wilhelmshaven. 14.11.2022. Zuletzt abgerufen am 15.03.2024. online abrufbar unter <https://www.energie-und-management.de/nachrichten/detail/co2-transport-von-der-schweiz-nach-wilhelmshaven-168370>

**European Commission 2024.** COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Towards an ambitious Industrial Carbon Management for the EU, Strasbourg. 6.2.2024. COM(2024) 62 final. abrufbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2024%3A62%3AFIN&qid=1707312980822>

**IEA 2021.** Technology Report: Zero-emission carbon capture and storage in power plants using higher capture rates.

**Kelm et al. 2022.** Sektorziele 2030 und klimaneutrales Baden-Württemberg 2040 - Teilbericht Sektorziele 2030. [Online] Juni 2022. [https://www.zsw-bw.de/fileadmin/user\\_upload/PDFs/Pressemitteilungen/2022/220624\\_Teilbericht\\_Sektorziele\\_BW.pdf](https://www.zsw-bw.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Pressemitteilungen/2022/220624_Teilbericht_Sektorziele_BW.pdf).

**K-SVR 2023.** Schmidt M., Schindler D., Arneth A., Löbbe S., Kesselring S., Pehnt M.; Stellungnahme gemäß § 16 Absatz 2 KlimaG BW zum Fortschritt des Klimaschutzes in Baden-Württemberg und zum Klima-Maßnahmen-Register Bezugsjahr 2022, Stuttgart. 30.09.2023.

**Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen 2021.** Kohlenstoff kann Klimaschutz - Carbon Management Strategie NRW, Düsseldorf. Oktober 2021 / MWIDE21-020.

**SDGG 2011.** Fehn, C. & Wirsing, G. (2011): Speicherpotenziale im tieferen Untergrund Baden-Württembergs. – In: Müller, C. & Reinhold, K. (Hrsg.): Geologische Charakterisierung tiefliegender Speicher- und Barrierehorizonte in Deutschland – Speicher-Kataster Deutschland. – Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Heft 74: 214-225; Hannover.

**UBA 2023.** Umweltbundesamt. Carbon Capture and Storage. Diskussionsbeitrag zur Integration in die nationalen Klimaschutzstrategien. Dessau-Roßlau. September 2023. ISSN 2363-8273

**VdZ 2020.** Verein Deutscher Zementwerke, VDZ, Hrsg. Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien. Düsseldorf, 2020 Online-Ausgabe unter [www.vdz-online.de/dekarbonisierung](http://www.vdz-online.de/dekarbonisierung)

**VdZ 2024.** Verein Deutscher Zementwerke, VDZ, Hrsg. Anforderungen an eine CO<sub>2</sub>-Infrastruktur in Deutschland – Voraussetzungen für Klimaneutralität in den Sektoren Zement, Kalk und Abfallverbrennung. Düsseldorf. 2024.

## **MEHR INFORMATIONEN**

Klima-Sachverständigenrat Baden-Württemberg  
Kernerplatz 9 · 70182 Stuttgart  
E-Mail: [klima-sachverstaendigenrat@um.bwl.de](mailto:klima-sachverstaendigenrat@um.bwl.de)



**KLIMA-SACHVERSTÄNDIGENRAT  
BADEN-WÜRTTEMBERG**