

2023

## Die Rolle von CCS als ein Baustein für den Klimaschutz in Deutschland

Diskussionspapier



# Executive Summary

---

Dieses Diskussionspapier zeigt auf, welche Gemeinsamkeiten und Differenzen in den Ansichten verschiedener Stakeholder aus Politik, Industrie, Umwelt-NGOs und Wissenschaft zu den unterschiedlichen Aspekten von CCS als Baustein für den Klimaschutz bestehen. Damit soll auch verdeutlicht werden, welche Ansätze zu gemeinsamen Fortschritten in der Debatte führen könnten.

Folgende Elemente kennzeichnen den Stand des Diskurses zu CCS in Deutschland:

- Die Diskussion um die **Definition schwer vermeidbarer Emissionen** ist als politischer Diskurs um die Bewertung der Legitimität biologisch/chemischer, politisch/ökonomischer sowie technologischer Gründe zu verstehen.
- Grundsätzliche Zustimmung besteht zu der Anwendung von CCS in der Kalk- und Zementindustrie sowie der thermischen Abfallverwertung. In anderen Sektoren hängt die Bewertung von CCS als Option der Dekarbonisierung von der Einschätzung des Ambitionsgrads und der Realisierungschance des jeweils avisierten **Transformationspfads** sowie vorliegender **technologischer Alternativen** ab.
- Die internationale Öl- und Gasindustrie spielt für den Aufbau von CCS-Infrastruktur eine Rolle, da sie Speicherlizenzen und z. T. Transportkapazitäten besitzt. Gleichzeitig geht es bei der aktuellen Diskussion nicht darum, einen vermeintlich klimafreundlichen Ausweg für die fossile Energieindustrie zu finden, sondern um CCS als **Option im Prozess der Dekarbonisierung der Industrie**.
- Die Nutzung von CCS darf nicht dazu führen, dass die **klimapolitische Priorisierung von Vermeidungsmaßnahmen** aufgegeben wird.
- Die nötigen Entscheidungen zum Aufbau von **CO<sub>2</sub>-Transport und -Speicherkapazitäten** müssen jetzt getroffen werden, damit CCS als ein Baustein des Klimaschutzes jetzt noch auf die nahenden Klimaziele einzahlen kann.
- Die Komplexitäten des CCS-Infrastrukturausbaus zeigen sich an der **notwendigen Balancierung** mit **Naturschutzerwägungen** und in der angepassten **Verkehrswegeplanung** z. B. im Schienenverkehr.
- Die Öffnung der Politik für CCS liefert neue Impulse für die **mögliche Rolle des Staates als Marktbereiter**.
- Wechselwirkungen und Zusammenhänge mit den regulatorisch bedeutsamen Ebenen der **Europäischen Union** und der **Bundesländer** sowie der **kommunalen Umsetzungsebene** müssen beachtet werden.

# 1. Die Rolle von CCS als Teil der Industrietransformation zur Klimaneutralität

---

Die Abscheidung und permanente tiefengeologische Speicherung von CO<sub>2</sub> (Carbon Capture and Storage, CCS) ist eine von mehreren Technologien des Carbon Managements. Dabei handelt es sich um einen Sammelbegriff, der neben CCS auch die CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Nutzung (Carbon Capture and Utilization, CCU) sowie die dauerhafte Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre beinhaltet (Carbon Dioxide Removal, CDR). Die Verwendung von Bio-CCS (Bioenergy with Carbon Capture and Storage) und DACCS (Direct Air Carbon Capture and Storage) in IPCC-Szenarien belegt die grundsätzliche Notwendigkeit eines weltweiten Ausbaus von CCS.<sup>1</sup> Speicherkapazitäten und -infrastruktur müssen für langfristigen effektiven Klimaschutz bereits heute erschlossen bzw. aufgebaut werden.

Zugleich existieren in einigen Industriesektoren längerfristig anderweitig schwer vermeidbare CO<sub>2</sub>-Emissionen, deren Fortbestehen das deutsche Netto-Null-Ziel der CO<sub>2</sub>-Emissionen 2045 gefährden. Mit den absehbaren technologischen und gesellschaftlichen Grenzen klassischer Energieeffizienz- und Substitutionsansätze in verschiedenen Industriesektoren zeigt sich die Notwendigkeit einer gesellschaftlichen Verständigung über den herausfordernden Transformationsweg emissionsintensiver Sektoren. Als Grundsatz muss auch weiterhin gelten: Ansätze der CO<sub>2</sub>-Vermeidung haben Priorität gegenüber Ansätzen der Minderung. Von herausragender Bedeutung ist dafür der Ausbau der erneuerbaren Energien. Doch auch mit einem komplett CO<sub>2</sub>-freien Stromnetz verbleiben industrielle Prozessemissionen, die der Klimaneutralität im Weg stehen. Mangels Technologiealternativen zur Adressierung dieser Emissionen sind einige Sektoren grundsätzlich auf CCS angewiesen. Die Hierarchie der Grundprinzipien des Klimaschutzes impliziert demnach keine Chronologie, denn wesentliche Entscheidungen zum Aufbau einer CO<sub>2</sub>-Transportinfrastruktur müssen heute getroffen werden. Wir müssen alle Instrumente, die zur Verfügung stehen, nutzen, um unsere Klimaziele zu erreichen.

Ein breiter gesellschaftlicher Dialog über die Anwendungsfelder von CCS ist notwendig, um sicherzustellen, dass der Einsatz von CCS zur Dekarbonisierung auch einen Beitrag zum Klimaschutz leistet. Die Priorisierung einzelner Anwendungsfelder erscheint aufgrund der in der Hochlaufphase noch begrenzten Speicherkapazität und Injektionsrate sinnvoll. Zugleich muss das jeweils unterschiedliche Emissionsminderungspotenzial klimapolitisch zielgerichtet eingesetzt und etwaige Haftungs- und Sicherheitsfragen geklärt werden.

Dieses Diskussionspapier fasst die Gemeinsamkeiten und Kontroversen zwischen verschiedenen gesellschaftlichen Akteuren bei der Bewertung von CCS als Teil der Industrietransformation zur Klimaneutralität zusammen. Der aktuelle Diskurs in Deutschland konzentriert sich auf die Fragen nach den Arten der Emissionen für die CCS Anwendung finden soll, in welchen Branchen bzw. Sektoren es genutzt werden soll, sowie daraus resultierend, mit welchen Infrastrukturbedarfen zu rechnen ist. Daran anschließend erfolgt die Diskussion möglicher (regulatorischer) Perspektiven, Erwartungen und Maßnahmen, wie sie z. T. bereits im Rahmen der derzeit in Entwicklung befindlichen Carbon Management-Strategie (CMS) der Bundesregierung umgesetzt werden können.

## Die Definition der Emissionen

Ausgangspunkt jeder Diskussion über die Rolle von CCS in der Industrietransformation ist die Definition der Emissionen, die durch CCS abgeschieden und permanent gespeichert werden sollen. Uneinigkeit besteht bei der Definition der Termini Rest- bzw. Residualemissionen und schwer bzw. unvermeidbare Emissionen, die in der Debatte die durch CCS zu adressierenden „Problemmissionen“ abgrenzen sollen. Schenuit et al. schlagen vor, Rest- bzw. Residualemissionen rein deskriptiv als „[...] Größe, die lediglich beschreibt, welche Emissionen im und nach dem Netto-Null-Jahr tatsächlich in die Atmosphäre gelangen.“<sup>2</sup> zu definieren. Als schwer bzw. unvermeidbare Emissionen beschreiben Akteure jedoch aus unterschiedlichen Erwägungen und Motivlagen ganz unterschiedliche Emissionen.<sup>3</sup> Als schwer vermeidbar können Emissionen etwa aus (a) biologisch/chemischen Gründen (wie z. B. Methanemissionen aus der Viehhaltung), (b) politisch/ökonomischen Gründen (z. B. aufgrund von Deindustrialisierungsrisiken durch Kostensteigerungen in bestimmten Sektoren) sowie (c) aus technologischen Gründen (z. B. bei prozessbedingten Emissionen) gelten.

In der Diskussion werden diese Begründungslogiken häufig vermischt, wenn beispielsweise die Kosten einer theoretisch verfügbaren Alternativtechnologie als so hoch gelten, dass ohne CCS die Verlagerung von Industriezweigen ins Ausland möglich scheint. Beispielsweise existieren z. T. bereits erste Technologien zur Elektrifizierung von Hochtemperaturwärme in einem frühen Entwicklungsstadium. Eine technische Lösung erscheint damit grundsätzlich vorstellbar, doch lässt der derzeitige Entwicklungsstand einen skalierbaren und kosteneffizienten Einsatz auf absehbare Zeit nicht zu. In diesem Beispiel gelten die Emissionen daher aufgrund einer Kombination aus ökonomischen und technologischen Gründen auf absehbare Zeit als schwer vermeidbar. Die Dimension der Zeit spielt ebenfalls eine Rolle bei der Einschätzung, welche Emissionen als schwer vermeidbar gelten können: Die Bewertung technischer Alternativen ist von den variierenden Einschätzungen ihrer Entwicklungsdauer und Skalierbarkeit im Zeitverlauf abhängig.

Die Frage, welche Emissionen legitimerweise als tatsächlich „schwer vermeidbar“ gelten können, wird damit zu einem fortwährenden Gegenstand politischer Aushandlung. Konsens ist dabei das Festhalten an einer Priorisierung von Vermeidungsansätzen. Die deutsche Debatte kennzeichnet jedoch die Sorge, dass der klimapolitische Grundsatz der Vermeidung durch die Anwendung von CCS an Bedeutung verlieren könnte. Ursprung dieser Sorge ist eine transformationspolitisch unproduktive Diskussion in Deutschland zur Anwendung von CCS bei Kohle- und Gaskraftwerken in den 2010er-Jahren, der es an einer klimapolitischen Einbettung mangelte. Die Technologie wurde in der Öffentlichkeit als ein Weg zur Sicherung der Zukunft der fossilen Energieindustrie wahrgenommen.

Das Vertrauen in die Anwendung von CCS nur für anderweitig schwer vermeidbare Emissionen ist zudem beeinträchtigt durch die mangelnde Zielerreichung bei anderen Klimaschutzmaßnahmen. Befürchtet wird eine unangebrachte Entlastungswirkung des Verweises auf CCS, durch die wichtige industriepolitische Transformationsmaßnahmen verzögert werden könnten.<sup>4</sup> In vielen anderen Industrieländern ist die Debatte dagegen von der Annahme eines notwendigen, aber auch durchführbaren synergetischen Parallelismus der Vermeidung und Abscheidung von CO<sub>2</sub> gekennzeichnet. In den USA deutet sich nach Jahrzehnten der Nutzung der Technologie zur Steigerung der Ausbeute von Ölfeldern (EOR, Enhanced Oil Recovery) ein Umlenken zur Anwendung der Technologie als Klimaschutzmaßnahme an, die sich in konkreten, am Klimanutzen von CCS orientierten, Förderplänen zeigt.<sup>5</sup> In Norwegen werden die verschiedenen Speicherstätten und insbesondere das jüngste Projekt „Northern Lights“ von der Bevölkerung als ein Beitrag zum Klimaschutz gesehen.<sup>6</sup>

Bei definitorischen Fragen sollte zudem die regulatorische Bedeutung der Europäischen Union (EU) nicht unterschätzt werden. Hier läuft derzeit ein paralleler Prozess der Definition entscheidender Termini und möglicher Fördermodelle für CCS, z. B. im Rahmen des Net Zero Industry Act (NZIA) und der Industrial Carbon Management Strategy.<sup>7</sup>

## Anwendungsfelder für CCS

Dennoch können bereits heute einige Sektoren identifiziert werden, bei denen die Anwendung von CCS keine nachteiligen Effekte hätte. Diese Sektoren gelten als sogenannte No-Regret-Anwendungen, weil hier – etwa, weil es sich um prozessbedingte Emissionen handelt – keine Alternativtechnologien vorliegen. Als annähernd konsensuell kann die Anwendung von CCS in den Sektoren Zement/Kalk und der thermischen Abfallindustrie gelten.

Darüber hinaus existieren sinnvolle Anwendungsfälle in der Chemie- und auch der Stahlindustrie. Hier liegen zwar Alternativtechnologien wie z. B. verschiedene Lösungen der Elektrifizierung vor, doch können diese häufig nicht kosteneffizient oder in der benötigten Größenordnung eingesetzt werden. Abhängig vom Erfolg der anderen Maßnahmen sollte die Rolle von CCS regelmäßig geprüft und die Anwendungsgebiete ggf. angepasst werden.

In der *Zementindustrie* sind vor allem die Prozessemissionen im Rahmen der Klinkerherstellung konventionell nicht zu mindern. Branchenexpert:innen halten den Austausch von Rohstoffen kaum für möglich und sieht die Steigerung der Energieeffizienz als zunehmend ausgereizt.<sup>8</sup> CCS stellt für die Zementindustrie nicht nur eine Brückentechnologie dar, sondern ist aufgrund der Prozessemissionen essenziell für die Herstellung von grünem Zement.<sup>9</sup> Vergleichbare Probleme stellen sich in der Kalkindustrie. Eine Anwendung von CCS für die Prozessemissionen der Zement- und Kalkindustrie trifft auf Zustimmung auch bei kritischeren Akteuren, zu denen einige Umweltverbände gehören.<sup>10</sup> Das Umweltbundesamt verweist aber auch auf die Unterscheidung von Energieemissionen, bei denen weitere Reduktionsbemühungen nicht durch den Verweis auf CCS behindert werden sollten.<sup>11</sup>

Bis zum Erreichen einer vollständigen Kreislaufwirtschaft werden CO<sub>2</sub>-Emissionen auch durch die *Abfallverbrennung* auftreten. Sind die verbrannten Abfälle biologischen Ursprungs, sind durch die Nutzung von CCS in der thermischen Abfallwirtschaft und auch in der Zementindustrie bei erhöhtem Bioabfallanteil in der Verbrennung sogar Negativemissionen möglich. Gegenwärtig werden erste Pilotprojekte für CCS an Müllverbrennungsanlagen in Norwegen in Betrieb genommen.<sup>12</sup> Selbst sehr CCS-kritische Akteure plädieren in diesem Sektor für die Anwendung von CCS, wenn sichergestellt wird, dass keine negativen Auswirkungen für den Ausbau der Kreislaufwirtschaft auftreten.<sup>13</sup>

In der *Chemieindustrie* gilt CCS als ein zentraler Baustein der Transformation neben der Direktelektrifizierung.<sup>14</sup> Nach Wahrnehmung der Chemieindustrie sind bereits viele der mit vertretbarem Aufwand durchführbaren Energieeffizienzmaßnahmen umgesetzt, weshalb alle weiteren Maßnahmen sehr hohe Investitionskosten und technische Unwägbarkeiten beinhalten. Die auch längerfristig bestehende Knappheit der erneuerbaren Energien und von grünem Wasserstoff machen CCS bereits heute zur kosteneffizientesten Dekarbonisierungslösung nach dem Einsatz erneuerbarer Energien. Die Chemieindustrie präferiert zur Sicherung ihrer Rohstoffe längerfristig jedoch den Pfad über grünen Wasserstoff sowie CCU und sieht in CCS daher primär eine Übergangstechnologie. Einige Umweltverbände befürchten bei einer Anwendung von CCS in der Chemieindustrie z. T. fossile Lock-in-Effekte bis zu den verarbeiteten Produkten, wodurch alternative Technologien und Suffizienzansätze ausgebremst werden könnten.<sup>15</sup>

Die *Stahlindustrie* konzentriert sich in ihren Klimatransformationsstrategien auf die Nutzung von Wasserstoff und verschiedene Verfahren der Direktelektrifizierung.<sup>16</sup> Die Knappheit erneuerbarer Energien sowie insbesondere die mangelhafte Verfügbarkeit grünen Wasserstoffs lassen jedoch auch CCS als eine ergänzende Option immer relevanter erscheinen.<sup>17</sup> CCS könnte etwa für die Produktion des mindestens übergangsweise benötigten blauen Wasserstoffs genutzt oder an einem DRI-Stahlwerk eingesetzt werden, das mit fossilem Gas betrieben wird.<sup>18</sup> Weil im Bereich Stahl grundsätzlich auch zahlreiche alternative Technologien eine Option sind, gilt die Anwendung von CCS derzeit als umstritten.

## Welche Infrastruktur nötig ist

Aus der Entscheidung über die sektoralen Anwendungsfelder ergeben sich die Infrastrukturbedarfe. Grundsätzlich ist ein schneller Hochlauf der Transport-, Injektions- und Speicherkapazitäten nötig, damit die Abscheidung und permanente tiefegeologische Speicherung von CO<sub>2</sub> bereits jetzt zum Erreichen der zeitlich nahen Klimaziele beitragen kann. Dabei müssen Lock-In-Effekte vermieden werden, durch welche die Lebensdauer rein fossiler Industrie verlängert werden könnte. Der Ausbau der Infrastruktur darf nicht dazu führen, dass Akteure diese Lösung als Alternative zu Vermeidungsstrategien bis in die ferne Zukunft fortzuschreiben versuchen. Der benötigte CCS-Umfang wird sich proportional zwischen 2030 und 2050 reduzieren, da alternative Technologien sich weiterentwickeln werden und sich die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien sowie damit auch von grünem Wasserstoff verbessert.<sup>19</sup> Die nach der Anwendung von CCS verbleibenden Residualemissionen werden durch die CO<sub>2</sub>-Bepreisung und andere Umweltregulationen teurer, wodurch andere Technologien ihre Marktpositionen gegenüber CCS verbessern können.

Die Infrastruktur wird in Zukunft aber trotzdem gebraucht werden, um Negativemissionen mit Hilfe von technischen CDR-Verfahren zu erreichen.

Den Kern der Infrastrukturdiskussion bildet die Frage nach dem Umfang der Transportmöglichkeiten. Unterschiedliche Akteure favorisieren den Aufbau regionaler Cluster- bzw. Hub-Lösungen oder plädieren für größer angelegte Pipeline-Projekte. Der Transport von CO<sub>2</sub> ist auch mithilfe von LKWs, Schiffen und Zügen möglich. Diese Optionen sind wichtig, um den nötigen diskriminierungsfreien Zugang zu modularem Transport außerhalb der Cluster zu gewährleisten. Hier zeigt sich die komplexe Interdisziplinarität von Klimaschutz, da die Planung der Transportmodalitäten des CO<sub>2</sub> eine breite Infrastrukturplanung des Transportsektor voraussetzt. Insbesondere der Ausbau der CO<sub>2</sub>-armen Schieneninfrastruktur ist für Standorte abseits der großen industriellen Cluster Deutschlands von überragender Bedeutung.

Zugleich erweitert der Ausbau der Schieneninfrastruktur abseits klimapolitischer Synergien mit der avisierten Verkehrswende die Optionen für den Anschluss weiterer Punktquellen in Regionen, in denen Pipelines nicht gewünscht oder aus ökonomischen Gründen nicht sinnvoll sind. Bereits in der Planungsphase ist es zudem entscheidend, die großen industriellen Cluster Europas als grenzüberschreitende Emittenten zu begreifen und z. B. in der Rhein-Ruhr-Region die Planungen mit Nachbarstaaten wie Belgien oder den Niederlanden zu koordinieren.<sup>20</sup>

## Diskussionen um die Speicherung von CO<sub>2</sub>

Auch die Frage nach möglichen Speicherorten ist kontrovers. Eine Speicherung unter der Nordsee muss vielfältige Nutzungskonkurrenzen, z. B. mit Offshore-Windenergie, innerhalb eines bereits stark genutzten Areals berücksichtigen.<sup>21</sup> Die häufig priorisierte Verbringung von CO<sub>2</sub> in skandinavische Speicherstätten muss Fragen nach der Legitimität einer derartigen Auslagerung von Verantwortung (Widerspruch zum Prinzip der Entsorgungsautarkie) und der damit einhergehenden Abhängigkeiten beantworten.

Mit der Speicherung von CO<sub>2</sub> insbesondere im Meeresboden sind Umweltrisiken verbunden, die von verschiedenen Akteuren als unterschiedlich gravierend eingeschätzt werden.<sup>22</sup> Insgesamt haben sich die Risiken jedoch in den langjährigen norwegischen CCS-Projekten als gut kontrollierbar herausgestellt.<sup>23</sup> Die Wissenschaft geht heute davon aus, das Leckagen des eingelagerten CO<sub>2</sub> aus dem Speichergestein nur bodennahe Wassermassen in einem Umfeld von 10 bis 50 m<sup>2</sup> um die Austrittsstelle versauern.<sup>24</sup> In den norwegischen Speicherstätten sind trotz aufwendigen Monitorings bisher keine Leckagen bekannt geworden.<sup>25</sup> Das Risiko von Leckagen kann daher durch eine gründliche Auswahl des Speicherstandorts und den Aufbau strikter Überwachungssysteme stark eingegrenzt werden.

Der theoretischen Gefahr des Austritts salzhaltigen und mit Schwermetallen belasteten Formationswassers, etwa nach seismischen Ereignissen, muss durch eine präzise Untersuchung geeigneter Speicherstätten begegnet werden.<sup>26</sup> Selbiges gilt für die Reaktivierung geologischer Störungen durch mögliche Druckveränderungen im Speichergestein, die theoretisch seismische Ereignisse auslösen könnten.<sup>27</sup>

Etwaige Lärmbelästigungen für Meeressäugetiere, insbesondere in der geologischen Erkundungsphase, müssen minimiert werden.<sup>28</sup> Für eine perspektivische Speicherung an Land gilt, dass der Austritt von CO<sub>2</sub> z.B. aus einer Pipeline aufgrund der chemischen Eigenschaften des Stoffs für Bevölkerung und Umwelt weniger gefährlich ist als etwa ein Gas-Leak, da CO<sub>2</sub> nicht explosiv ist. Nach teils jahrzehntelangen Erfahrungen mit dem Transport von CO<sub>2</sub> in einigen Staaten, inklusive Deutschland, kann dieser als sehr sicher gelten, wobei noch technische Fragen u. a. zu den nötigen Materialanforderungen an Pipelines und der möglichen stofflichen Zusammensetzung des Gasgemisches zu klären sind.<sup>29</sup>

## Fokus: Die Rolle der Öl- und Gasindustrie

CCS wird verschiedentlich als das neue Gewand der fossilen Energieindustrie verstanden. CCS wird seit langem von internationalen Öl- und Gasunternehmen als Lösung an die Politik herangetragen, ohne, dass die Industrie jemals ernsthaft an der Umsetzung gearbeitet hat (mit Ausnahme von EOR). Seit 2015 entfielen lediglich 8% der „Clean Energy“ Investitionen der Öl- und Gasindustrie auf CCS- oder CCU-Projekte.<sup>30</sup> Hier fehlte es an der Notwendigkeit, die Kosten von CCS zu tragen, wenn es hierfür keine Verpflichtung gibt. CCS blieb also bisher eine Scheinlösung, fossile Energieträger klimafreundlich erscheinen zu lassen.

Die jetzige Debatte fokussiert sich allerdings auf die Bereitstellung von CCS als Klimaschutzmaßnahme für die Industrie, nicht als Mittel einer weiterhin fossilbasierten Energiewirtschaft. Dennoch bleibt die Sorge, dass eine Skalierung der Anwendung von CCS dieser Sichtweise zufolge zu neuen Pfadabhängigkeitseffekten führen würde, die den endgültigen Ausstieg aus der Nutzung fossiler Energien deutlich verzögern könnten. In der Tat spielt die Öl- und Gasindustrie zum Aufbau von CCS-Kapazitäten grundsätzlich eine wichtige Rolle. Sie besitzt etwa z. T. die Lizenzen für Speicherstätten, das nötige technische Wissen und teils auch Pipeline-Transportkapazitäten. Mitunter wird gar auf die mangelnde demokratische Kontrollierbarkeit eines auch volkswirtschaftlich ineffizienten CCS-Oligopols der fossilen Industrie verwiesen.<sup>31</sup>

Damit CCS sein tatsächliches Potenzial als Klimaschutzmaßnahme vor allem für die Grundstoffindustrie wahrnehmen kann, ohne zum „Weiterso“ der internationalen Öl- und Gasunternehmen zu verkommen, braucht es klare regulatorische Rahmenbedingungen für den Einsatz und die Finanzierung von CCS. Gleichzeitig sollten durch ordnungspolitische Verpflichtungen an die Öl- und Gasindustrie, wie im NZIA der EU geplant, die jeweiligen Unternehmen gezwungen werden, Verantwortung zu übernehmen und einem fossilen Business-As-Usual ein Riegel vorgeschoben werden.<sup>32</sup>

## 2. Diskussion von regulativen Erwartungen, Perspektiven und Maßnahmen

---

Stakeholder erwarten sich von der Carbon Management-Strategie (CMS) der Bundesregierung, dass sie zentrale regulatorische Fragen klärt und eine Antwort darauf findet, wie eine dauerhafte gesellschaftliche Akzeptanz von CCS in Deutschland erreicht werden kann. Gemeinsamkeiten bestehen in der Wahrnehmung der Notwendigkeit, die CMS als Teil der Strategie der Industrietransformation zu begreifen und einen sinnvollen Rahmen für die Förderpolitik zu setzen.

Bei den grundlegenden politischen Erwartungen an die Regulation von CCS, z.B. im Rahmen der CMS, besteht weitgehende Einigkeit unter den Akteuren. Die klima- und transformationspolitisch unproduktive Diskussion um CCS an Kohlekraftwerken in den frühen 2010er-Jahren wird von den politischen Parteien als Hypothek für einen differenzierten Diskurs begriffen und soll keinesfalls wiederholt werden. Politiker:innen sehen sich z. T. in der Pflicht, den Nutzen von CCS differenziert und pro-aktiv auch der Öffentlichkeit zu erklären.

Umweltverbände verweisen darauf, dass der mit CCS verbundene Aufbau von Infrastrukturen auch als Bedrohung für den Naturschutz vor Ort begriffen werden kann, insbesondere, wenn im Rahmen der Planungsbeschleunigung die Klagerechte eingeschränkt werden. Das Dilemma zwischen einem schnellen Infrastrukturausbau und den Klagerechten von Verbänden sowie dem berechtigten Interesse der Öffentlichkeit an einer Beteiligung besteht jedoch bei jedem Ausbau dringlich benötigter Infrastruktur. Abwägungen, die beide Interessen berücksichtigen, müssen nicht nur beim Aufbau von CCS-Infrastruktur, sondern auch beim Ausbau der Windenergie, der Stromnetze oder der Wasserstoffpipelines berücksichtigt werden. Für die Erwägungen des Naturschutzes gilt es, zu berücksichtigen, dass Klimaschutzmaßnahmen nicht grundsätzlich in Konflikt zu kleinräumlichen Naturschutzmaßnahmen stehen, sondern die Zukunft des Schutzes von Flora und Fauna durch eine Begrenzung der Klimakrise sichern. Effektiver Klimaschutz erfordert dafür bisweilen den Aufbau großangelegter Infrastrukturprojekte, wie anhand der CCS-Infrastrukturprojekte deutlich wird. Häufig ist jedoch ein kluger Ausgleich der Interessen möglich, sodass mögliche Konflikte zwischen Klima- und Umweltschutz reduziert werden können.

Bürger:innen vor Ort muss die konkrete Notwendigkeit der Eingriffe im Kontext der Klima- und Transformationspolitik vermittelt werden. Es besteht Einigkeit darüber, dass es dafür vielfältiger Partizipations- und Dialogformate auf allen Ebenen bedarf. Zur Vertrauensbildung zwischen den Akteuren der Wissenschaft, Politik, Gesellschaft und Industrie schlägt beispielsweise der NABU den Aufbau eines transdisziplinären CCS-Beirats zur transparenten Diskussion der Infrastrukturbedarfe, etwaiger Förderbedarfe und abzuschheidender CCS-Mengen nach dem Vorbild des niederländischen Klima-Tisches vor.<sup>33</sup>

## Das Zusammenspiel von natürlichen und technischen Senken

Einigkeit besteht auch über die Verantwortung Deutschlands als größter Industrienation Europas, sich beim Aufbau von CCS-Kapazitäten nicht zu verstecken bzw. den Aufbau anderen Staaten zu überlassen. Der klimapolitische Dreiklang von Vermeidung, Substitution und Abscheidung soll dabei aufrechterhalten werden, denn es geht nicht darum, Vermeidungsstrategien durch CCS zu ersetzen. Betont wird ergänzend die herausragende Bedeutung natürlicher Senken, die weiter ausgebaut werden sollen. Dabei bestehen prinzipiell keine Konflikte zwischen dem Ausbau natürlicher und technischer Senken, die beide für CDR benötigt werden.

Mit dem Aufbau technischer Senken durch CCS werden zusätzliche Kapazitäten im Sinne positiver Redundanzen geschaffen. Natürliche Senken bieten wertvolle Co-Benefits, etwa im Bereich des Artenschutzes und der Biodiversität. Es ist jedoch schwierig, die CO<sub>2</sub>-Entnahmen korrekt zu bilanzieren sowie zu monitoren und die Permanenz der Entnahme zu verifizieren. Das wird zusätzlich erschwert durch erste Auswirkungen der Klimakrise, wenn beispielsweise Wälder durch extreme Hitze häufiger in Brand geraten. Technische Senken bieten eine zusätzliche Absicherung, die nicht abhängig ist von der derzeit immer fragiler werdenden Stabilität der Ökosysteme. Für Staaten mit begrenzten Potenzialen im Bereich der natürlichen Senken und zugleich hohen aktuellen und historischen Emissionswerten wie Deutschland stellt sich zudem die Frage, wie sie ihrer Verantwortung für die Emissionen nachkommen wollen. Technische Senken stellen angesichts des großen Bedarfs eine sinnvolle Ergänzung begrenzter natürlicher Senken dar.

## Ein Blick in die parteipolitischen Differenzen

Differenzen bestehen in der Bewertung der Definition der Termini der Restemissionen bzw. schwer vermeidbaren Emissionen. SPD und Bündnis 90/Die Grünen bevorzugen eine möglichst exakte Definition unvermeidbarer Restemissionen als alleinigen Anwendungsfall für CCS.<sup>34</sup> Ihre zuvor skeptische Position zur Rolle von CCS haben Bündnis 90/Die Grünen jüngst zugunsten eines Parteitagebeschlusses aufgegeben, der die Bedeutung von CCS als ein wichtiges Instrument des Klimaschutzes betont. Sie verweisen angesichts der weltweiten Entwicklung der Emissionen darauf, dass derzeit alle verfügbaren und wissenschaftlich als sinnvoll erachteten Instrumente benötigt werden.<sup>35</sup> Die FDP sieht CCS für Restemissionen vor, rechnet mit einer Umsetzung der nötigen Konkretisierungen während des parlamentarischen Verfahrens, wendet sich insgesamt aber gegen primär semantische Differenzierungen der „Schwierigkeit“ der Vermeidung.<sup>36</sup> CDU/CSU sehen eine Notwendigkeit für CCS in großem Umfang als eine zuverlässige Option im Werkzeugkasten der Dekarbonisierung.<sup>37</sup> Die Anwendung soll nach Auffassung der CDU/CSU daher nicht lediglich auf unvermeidbare Emissionen beschränkt werden.<sup>38</sup> CDU/CSU und FDP fordern auch den Einsatz von CCS zur Produktion von blauem Wasserstoff, SPD und Bündnis 90/Die Grünen lehnen dies ab, stehen aber einem Import von blauem Wasserstoff als Brücke offen gegenüber.<sup>39</sup>

## Wie schnell und stark sollte CCS skaliert werden?

Industrievertreter:innen wenden bei Diskussionen um die legislative Regelung der Anwendungssektoren und Emissionsarten häufig ein, dass das allgemeine Investitionsklima für den Aufbau etwa der Transportinfrastruktur abhängig ist von einem deutlichen Bekenntnis der Politik zur schnellen Skalierung der CCS-Infrastruktur. Umweltverbände weisen darauf hin, dass bereits jetzt sichergestellt werden muss, dass die „Mittelstreckenlösung“ CCS keine Pfadabhängigkeiten erzeugt, die effektiveren alternativen Dekarbonisierungslösungen der Zukunft entgegensteht. Beispielsweise muss die Fehlallokation von Investitionen mit regulatorischen Mitteln verhindert werden. Wenn z. B. Müllverbrennungsanlagen für abgedichtetes und dann exportiertes CO<sub>2</sub> von der Zertifikatspflicht befreit würden, sei denkbar, dass diese einen unerwünschten Wettbewerbsvorteil gegenüber der Kreislaufwirtschaft erlangen.<sup>40</sup>

Diskutiert wird aufgrund der langen Investitionszyklen z. B. die Entwicklung einer Taxonomie legitimer CCS-Anwendungen, die bei Unternehmen für Sicherheit und bei Kritiker:innen für Akzeptanz sorgen könnte.<sup>41</sup> Das regulative Umfeld für CCS hat zudem auch Auswirkungen auf die Investitionen in den bestehenden Anlagenbestand in Deutschland, wie Industrievertreter:innen häufig betonen: In einem schwierigen gesamtwirtschaftlichen Investitionsumfeld sei der komplette Neuaufbau von Anlagen – wie z. T. für die Verfahren der Direktelektrifizierung nötig – eine erhebliche Einstiegshürde für die Senkung von Emissionen. Mit CCS könnten Emissionen im Ergebnis schneller gesenkt und volkswirtschaftlich schädlichen Produktionsverlagerungen oder dem Import von Fertigprodukten vorgebeugt werden.

## Die Rolle des Staates

Kontrovers erscheint auch die Verwendung öffentlicher Mittel zur Finanzierung von Projekten. Einige Umweltverbände lehnen diese für den Betrieb von CCS-Anlagen ab, weil sie das Verursacherprinzip unterminieren würde.<sup>42</sup> Stattdessen sollen sich CCS-Projekte im Rahmen grüner Leitmärkte perspektivisch selber tragen. Einer zeitlich begrenzten Anschubfinanzierung gegenüber zeigen sich WWF, Germanwatch, E3G und NABU aber aufgeschlossen.<sup>43</sup> Unsere CCS-Leiter, die gemeinsam mit E3G erarbeitet wurde, könnte Orientierung geben, mit deren Hilfe eine Merit-Order der CCS-Anwendungen bestimmt werden kann.<sup>44</sup> So kann der Klimanutzen von CCS für spezifische Anwendung anhand der Kriterien Verfügbarkeit alternativer Technologien, Minderungspotenzial, Durchführbarkeit der Abscheidung und einer Bewertung der CO<sub>2</sub>-Quelle (z. B. hinsichtlich etwaiger Lock-in-Effekte) eingeschätzt werden. Fördergelder sollten in die so ermittelten prioritären Sektoren fließen. Schneidet eine Anwendung hinsichtlich dieser Kriterien schlecht ab, sollte die finanzielle Bürde ihrer Finanzierung beim Emittenten liegen. Angesichts mehrjähriger Planungszeiten müssen zentrale Entscheidungen nun jedoch zeitnah getroffen werden.

Hinsichtlich möglicher Transportmittel für CO<sub>2</sub> besteht Einigkeit bei Industrie und (Umwelt-) Verbänden, regulatorisch den multimodalen Transport zu ermöglichen, um den schnellen Hochlauf von Pionierprojekten nicht von der Existenz von Pipelines abhängig zu machen. Beim Ausbau von Transportinfrastruktur muss berücksichtigt werden, dass die prioritären Sektoren der Zement-, Kalk- und thermischen Abfallindustrie nicht notwendig in den großen industriellen Clustern Deutschlands ansässig sind.<sup>45</sup>

Der Aufbau der Infrastruktur sollte nach Auffassung Bellonas nicht allein privaten Akteuren überlassen werden, sondern eine starke Rolle des Staates beinhalten, um einen diskriminierungsfreien Zugang zur Infrastruktur zu gewährleisten und Monopolrenditen zu vermeiden.

Das Ziel dieser Rolle des Staates als Marktbereiter ist zugleich die Minimierung von sogenannten Gegenparteorisiken für Unternehmen.<sup>46</sup> Konkret könnten staatliche bzw. staatlich finanzierte Organisationen zum Aufbau regionaler Transport- und Speicherinfrastrukturen gegründet werden, die erste Cluster und Hubs erschließen, an die private Investitionen anknüpfen können. Die marktberreitenden Organisationen könnten trotz großer Investitionsrisiken den zügigen Aufbau von CCS-Infrastruktur durch die staatliche Finanzierung vorantreiben und mit den daraus resultierenden Netzwerkeffekten die Wirtschaftlichkeit von CCS in spezifischen Regionen ermöglichen. Sie haben eine Vermittlungs- und Informationsfunktion, durch die sichergestellt wird, dass die Ausbaupläne mit jenen der Industrie harmonieren. Damit wird sichergestellt, dass die Dekarbonisierung schnellstmöglich und zu den geringsten Kosten stattfindet. Die denkbaren Modelle sind vielfältig: Market Maker-Organisationen können an bestehende Institutionen angegliedert werden oder ganz neu gegründet werden. Die Organisation könnte 100% dem Staat gehören oder einer Public-Private-Partnership entsprechen. Insgesamt sollte sich der Staat als eine wichtige Koordinationsstelle des Infrastrukturaufbaus begreifen.

Kontroversen bestehen in Bezug auf die Haftungsregeln für Speicherstätten. Industrievertreter:innen sehen hier häufig eine starke Rolle des Staates, während Umweltverbände das Verursacherprinzip nicht auflösen wollen. Die langfristige Haftung geht nach dem Ende der Betreiberhaftung an den Staat über. In Norwegen zahlt die Betreibergesellschaft nach 20 Betriebsjahren dem Staat eine Summe zur Deckung der antizipierten Überwachungskosten mindestens der nächsten 30 Jahre. Dieses Verfahren sieht die Europäische CCS-Direktive vor. Die mit der Notwendigkeit einer langfristigen Überwachung begründete Einschränkung des Verursacherprinzips bürdet nachfolgenden Generationen die Verantwortung für heutige Emissionen auf.<sup>47</sup> Dennoch gilt es in Bezug auf etwaige Haftungsrisiken zu berücksichtigen, dass CO<sub>2</sub>-Speicher mit Voranschreiten der Mineralisierung sicherer werden. Der z. T. angestellte Vergleich der Haftungsrisiken mit der Lagerung von Atommüll führt daher in die Irre. So hat ein Austritt von CO<sub>2</sub> nicht die gleichen katastrophalen Folgen wie der von Radioaktivität und auch die Zeit bis zur Mineralisierung von CO<sub>2</sub> ist mit wenigen Jahrzehnten bis Jahrhunderten nicht mit der Strahlungsaktivität von Atommüll vergleichbar.<sup>48</sup>

## CCS-Politik auf unterschiedlichen Ebenen

Die CMS berührt auch anderen Themen der Industrietransformation. Einigkeit besteht darüber, dass regulatorische Maßnahmen stets die Wechselwirkungen und Zusammenhänge u. a. mit der komplementären Nationalen Biomassestrategie, der Wasserstoffstrategie oder der Kreislaufwirtschaftsstrategie berücksichtigen sollten.

Auf der Ebene der Bundesländer stellt sich die Frage nach der Angemessenheit der aktuell noch gültigen Opt-Out-Klausel des KSpG (Kohlendioxid-Speicherungsgesetz), die es einzelnen Bundesländern ermöglicht, die Anwendung von CCS auszuschließen. Touristische und Naturschutzerwägungen einzelner Bundesländer konfliktieren ggf. mit dem nötigen Aufbau einer Transportinfrastruktur, die im Fokus der Länder liegt, in denen die großen industriellen Cluster Deutschlands beheimatet sind. Viele rechtliche Zuständigkeiten betreffend den Aufbau von Infrastruktur berühren die Kompetenzen der Bundesländer. Als entscheidend wird daher auch die Etablierung einer politischen Führungssäule auf Länderebene durch die Bundesregierung erachtet. Ergänzend ist auch der Kompetenzaufbau auf der lokalen Ebene voranzutreiben, denn hier müssen CCS-Projekte letztlich umgesetzt werden. Jede regulatorische Ebene profitiert dabei von einem ambitionierten Bürokratieabbau.

Auf der europäischen Ebene wird die Einführung eines Zertifizierungssystem für Negativemissionen mit Fokus auf die Klimawirksamkeit diskutiert. Dieses muss durch ein robustes und transparentes MRV-

System ergänzt werden, damit Risiken kontrolliert und die Umweltverträglichkeit gewährleistet werden kann. Regulatorische Rahmenbedingungen müssen auch für die notwendige Berichterstattung möglicher Umfüllverluste im Rahmen des Transports geschaffen werden.<sup>49</sup> Eine stärkere Verankerung von Carbon Management-Politik auf Europäischer Ebene stärkt auch den Einfluss Europas auf globale Diskurse und Akteure, die durch CCS fossile Wirtschaftsmodelle bis in die ferne Zukunft fortschreiben wollen.<sup>50</sup> Dabei handelt es sich um eine im Ergebnis klimaschädliche Nutzung der CCS-Technologie, weshalb vor allem Umweltschutzorganisationen betonen, dass das Aufleben dieses Narrativs im Kontext der gegenwärtigen UN-Weltklimakonferenz (COP28) verhindert werden muss.

Der Diskurs um die Rolle von CCS als ein Baustein für den Klimaschutz in Deutschland zeigt sich damit insgesamt als politischer Diskurs um die Bewertung der Legitimität biologisch/chemischer, politisch/ökonomischer sowie technologischer Gründe der Anwendung von CCS. Zuletzt sind stärker als zuvor die Gemeinsamkeiten vieler Akteure bei der Bewertung prioritärer Anwendungsfelder von CCS hervorgetreten. Dabei bildet sich die Einsicht heraus, dass der schnelle Aufbau von CCS-Infrastruktur dem Klimaschutz dient und bei guter Governance der Priorität von Vermeidungsmaßnahmen im Transformationsprozess nicht im Wege steht.

Zusammenspiel mit weiteren Strategien	Carbon Management-Strategie				Negativemissionsstrategie
	Kreislaufwirtschaftsstrategie				
Kategorie	CCU	CCS Keine Option	CCS als Option	CCS No Regrets	CDR Ausgleich benötigt
Emissionsart	CO <sub>2</sub> als Rohstoff	Vermeidbare Emissionen	Schwer vermeidbare Emissionen	Anderweitig nicht vermeidbare „Rest“-Emissionen	Unvermeidbare Restemissionen
Definition	Alternative Kohlenstoffquelle zu direkt fossilem Kohlenstoff	Alternativen ausreichend vorhanden	Alternativen zur Emissionsvermeidung aus techn. / ök. Gründen nicht ausreichend vorhanden	In der Entstehung nicht (prozessbed. Emissionen), aber im Ausstoß mit CCS vermeidbar	In der Entstehung und im Ausstoß nicht vermeidbar
Anwendungsbereiche	Chemie: Polymere; Synthetische Energieträger (E-Fuels)	Niedrigtemperaturwärme; Strom (weitestgehend)	Stahl; Chemie; Glas; Papier; etc.	Zement; Kalk; thermische Abfallverwertung	Landwirtschaft; Tierhaltung

Abbildung: Governance von Emissionen

- <sup>1</sup> Katherine Calvin u. a., „IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.“, First (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 25. Juli 2023), <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.
- <sup>2</sup> Felix Schenuit, Miranda Böttcher, und Oliver Geden, „Carbon Management: Chancen und Risiken für ambitionierte Klimapolitik“, SWP Aktuell, 5. Mai 2023, 4, <https://doi.org/10.18449/2023A30>.
- <sup>3</sup> Vgl. Schenuit, Böttcher, und Geden, 4.
- <sup>4</sup> Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND), „CCS (Carbon Capture and Storage): Falsche Weichenstellung verhindern!“, August 2023, [https://www.bund.net/fileadmin/user\\_upload\\_bund/bilder/klimawandel/falsche-weichenstellung-vermeiden-standpunkt-ccs.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/bilder/klimawandel/falsche-weichenstellung-vermeiden-standpunkt-ccs.pdf).
- <sup>5</sup> Leah Douglas, „Biden Administration Sees Carbon Capture as Key Tool in Climate Fight“, Reuters, 7. Februar 2022, Abschn. Environment, <https://www.reuters.com/business/environment/biden-administration-sees-carbon-capture-key-tool-climate-fight-2022-02-07/>.
- <sup>6</sup> Åsta Dyrnes Nordø, Gisle Andersen, und Christine Merk, „Technology Will Save the Climate! Attitudes towards Norway’s Climate Policy in Four Social Groups“, Kiel Working Paper. Kiel Institute for the World Economy (IfW Kiel), Kiel Institute for the World Economy (IfW Kiel), Nr. 2239 (Februar 2023), <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/268865/1/KWP2239.pdf>.
- <sup>7</sup> Bellona Europa, „Consultation Response. Industrial Carbon Management Strategy“, Juli 2023, [https://network.bellona.org/content/uploads/sites/3/2023/07/CR\\_Industrial\\_Carbon\\_Management\\_StrategyV2.pdf](https://network.bellona.org/content/uploads/sites/3/2023/07/CR_Industrial_Carbon_Management_StrategyV2.pdf); Bellona Europa, „Bellona Europa Feedback to the Call for Evidence for the Industrial Carbon Management Strategy“, 31. August 2023, [https://network.bellona.org/content/uploads/sites/3/2023/07/Bellona\\_Europa\\_Feedback\\_Industrial\\_Carbon\\_Management\\_Strategy\\_31082023\\_1.pdf](https://network.bellona.org/content/uploads/sites/3/2023/07/Bellona_Europa_Feedback_Industrial_Carbon_Management_Strategy_31082023_1.pdf).
- <sup>8</sup> Verein Deutscher Zementwerke (vdz), „Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien“, November 2020, [https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/zementindustrie/VDZ-Studie\\_Dekarbonisierung\\_von\\_Zement\\_und\\_Beton.pdf](https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/zementindustrie/VDZ-Studie_Dekarbonisierung_von_Zement_und_Beton.pdf).
- <sup>9</sup> Verein Deutscher Zementwerke (vdz).
- <sup>10</sup> NABU u. a., „Voraussetzungen für eine erfolgreiche und breit akzeptierte Carbon Management-Strategie“, 23. März 2023, <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Klima/Eckpunktepapier-voraussetzungen-fuer-eine-carbon-management-strategie.pdf>; NABU, „NABU-Standpunkt CCU und CCS in der Industrie. Können diese Technologien einen wirksamen Beitrag zur Bekämpfung der Klimakrise leisten?“, 2022, [https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/klimaschutz/221027\\_nabu-standpunktccuccs\\_pdf](https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/klimaschutz/221027_nabu-standpunktccuccs_pdf).
- <sup>11</sup> Umweltbundesamt, Carbon Capture and Storage (CCS) - Diskussionsbeitrag zur Integration in die nationalen Klimaschutzstrategien (Umweltbundesamt, 2023), <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/carbon-capture-storage-diskussionsbeitrag>.
- <sup>12</sup> Kira Taylor, „CO<sub>2</sub>-Abscheidung: die Lösung für Müllverbrennungsanlagen?“, [www.euractiv.de](http://www.euractiv.de), 4. November 2021, <https://www.euractiv.de/section/energie-und-umwelt/news/co2-abscheidung-die-loesung-fuer-muellverbrennungsanlagen/>.
- <sup>13</sup> Umweltbundesamt, Carbon Capture and Storage (CCS) - Diskussionsbeitrag zur Integration in die nationalen Klimaschutzstrategien.

- <sup>14</sup> Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI) und Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI), „Wie die Transformation der Chemie gelingen kann“, April 2023, <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/broschueren-und-faltblaetter/final-c4c-broschure-langfassung.pdf>.
- <sup>15</sup> Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND), „CCS (Carbon Capture and Storage): Falsche Weichenstellung verhindern!“
- <sup>16</sup> Wirtschaftsvereinigung Stahl, „Aktuelle politische Positionen zur Transformation der Stahlindustrie in Deutschland“, Februar 2022, [https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/202202\\_PosPap\\_Aktuelle\\_politische\\_Positionen\\_Transformation.pdf](https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/202202_PosPap_Aktuelle_politische_Positionen_Transformation.pdf).
- <sup>17</sup> Bellona, „Dekarbonisierung der deutschen Stahlproduktion: Warum Wasserstoff nicht die alleinige Lösung sein kann“, Bellona.de, 3. Juli 2023, <https://de.bellona.org/2023/07/03/dekarbonisierung-der-deutschen-stahlproduktion-warum-wasserstoff-nicht-die-alleinige-losung-sein-kann/>.
- <sup>18</sup> Bellona.
- <sup>19</sup> E3G und Bellona, „Carbon Capture and Storage Ladder. Assessing the Climate Value of CCS Applications in Europe“, Juli 2023, [https://network.bellona.org/content/uploads/sites/5/2023/07/CCSL\\_briefing.pdf](https://network.bellona.org/content/uploads/sites/5/2023/07/CCSL_briefing.pdf).
- <sup>20</sup> Bellona, „Manufacturing Our Future: Industries, European Regions and Climate Action. CO<sub>2</sub> Networks for the Ruhr, Rotterdam, Antwerp & the greater Oslo Fjord“, 2016, [https://network.bellona.org/content/uploads/sites/3/2016/10/MANUFACTURING\\_OUR\\_FUTURE\\_INDUSTRIES\\_EU\\_REGIONS\\_AND\\_CLIMATE\\_FINAL.pdf](https://network.bellona.org/content/uploads/sites/3/2016/10/MANUFACTURING_OUR_FUTURE_INDUSTRIES_EU_REGIONS_AND_CLIMATE_FINAL.pdf).
- <sup>21</sup> NABU, „NABU-Standpunkt CCU und CCS in der Industrie. Können diese Technologien einen wirksamen Beitrag zur Bekämpfung der Klimakrise leisten?“
- <sup>22</sup> vgl. für eine kritische Position: Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND), „CCS (Carbon Capture and Storage): Falsche Weichenstellung verhindern!“
- <sup>23</sup> CDRmare, „Fact Sheet: Kohlendioxid-Speicherung im tiefen Untergrund der deutschen Nordsee“, Juni 2023, [https://cdrmare.de/wp-content/uploads/2023/06/CDRmare06\\_speichsandst\\_factsheet\\_230620V3.pdf](https://cdrmare.de/wp-content/uploads/2023/06/CDRmare06_speichsandst_factsheet_230620V3.pdf).
- <sup>24</sup> CDRmare.
- <sup>25</sup> CDRmare.
- <sup>26</sup> CDRmare.
- <sup>27</sup> CDRmare.
- <sup>28</sup> CDRmare.
- <sup>29</sup> J. Sonke, W. M. Bos, und S. J. Paterson, „Materials challenges with CO<sub>2</sub> transport and injection for carbon capture and storage“, International Journal of Greenhouse Gas Control 114 (1. Februar 2022): 103601, <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2022.103601>; Heike Rütters u. a., „Towards defining reasonable minimum composition thresholds Impacts of variable CO<sub>2</sub> stream compositions on transport, injection and storage“, International Journal of Greenhouse Gas Control 114 (1. Februar 2022): 103589, <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2022.103589>.

- <sup>30</sup> IEA, „The Oil and Gas Industry in Net Zero Transitions“, November 2023, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a6e9b92623494bee856e4997aab5399f/TheOilandGasIndustryinNetZeroTransitions.pdf>.
- <sup>31</sup> Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND), „CCS (Carbon Capture and Storage): Falsche Weichenstellung verhindern!“
- <sup>32</sup> Third Generation Environmentalism (E3G) u. a., „Holding oil and gas producers accountable“, 30. Oktober 2023, <https://network.bellona.org/content/uploads/sites/3/2023/11/CSO-open-letter-on-OG-contribution-Net-Zero-Industry-Act.pdf>.
- <sup>33</sup> NABU, „NABU-Standpunkt CCU und CCS in der Industrie. Können diese Technologien einen wirksamen Beitrag zur Bekämpfung der Klimakrise leisten?“
- <sup>34</sup> Lisa Badum, „CCS: CO<sub>2</sub>-Deponierung ist kein Ersatz für Dekarbonisierung!“, 24. Januar 2023, <https://www.lisa-badum.de/wp-content/uploads/2023/01/Lisa-Badum-CO2-Deponierung-ist-kein-Ersatz-f%C3%BCr-Dekarbonisierung.pdf>; SPD-Bundestagsfraktion, „Negativemissionstechnologien (CCU/S) – zum Umgang mit unvermeidbaren Restemissionen“, 5. Mai 2023, [https://www.spdfraktion.de/system/files/documents/positionspapier\\_negativemissionstechnologien.pdf](https://www.spdfraktion.de/system/files/documents/positionspapier_negativemissionstechnologien.pdf).
- <sup>35</sup> „Grünen-Parteitag beschließt Kurswechsel bei CO<sub>2</sub>-Speicherung“, tagesschau.de, zugegriffen 29. November 2023, <https://www.tagesschau.de/inland/innenpolitik/gruene-parteitag-co2-speicherung-100.html>.
- <sup>36</sup> Fraktion der Freien Demokraten im Deutschen Bundestag, „ZUKUNFTSTHESEN FÜR EINEN WIRKSAMEN KLIMASCHUTZ. Positionspapier der Freien Demokraten im Deutschen Bundestag“, April 2023, <https://www.fdpbt.de/sites/default/files/2023-05/positionspapier-zukunftsthesen-fur-einen-wirksamen-klimaschutz.pdf>.
- <sup>37</sup> CDU/CSU Fraktion im deutschen Bundestag, „Carbon Capture and Storage (CCS) / Carbon Capture and Utilization (CCU): Chancen für Klima, Industrie und Wohlstand“, zugegriffen 7. November 2023, [https://www.cducsu.de/sites/default/files/2023-01/PP%20CCS%20und%20CCU%20neu\\_0.pdf](https://www.cducsu.de/sites/default/files/2023-01/PP%20CCS%20und%20CCU%20neu_0.pdf).
- <sup>38</sup> CDU/CSU Fraktion im deutschen Bundestag.
- <sup>39</sup> CDU/CSU Fraktion im deutschen Bundestag; Fraktion der Freien Demokraten im Deutschen Bundestag, „ZUKUNFTSTHESEN FÜR EINEN WIRKSAMEN KLIMASCHUTZ. Positionspapier der Freien Demokraten im Deutschen Bundestag“; SPD-Bundestagsfraktion, „Negativemissionstechnologien (CCU/S) – zum Umgang mit unvermeidbaren Restemissionen“; Badum, „CCS: CO<sub>2</sub>-Deponierung ist kein Ersatz für Dekarbonisierung!“
- <sup>40</sup> Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND), „CCS (Carbon Capture and Storage): Falsche Weichenstellung verhindern!“
- <sup>41</sup> „Wo stehen wir in der Carbon Management-Politik?“, zugegriffen 21. November 2023, [https://de.linkedin.com/posts/felixschenuit\\_wo-stehen-wir-in-der-carbon-management-politik-activity-7082278371916689408-GLIE](https://de.linkedin.com/posts/felixschenuit_wo-stehen-wir-in-der-carbon-management-politik-activity-7082278371916689408-GLIE).
- <sup>42</sup> NABU u. a., „Voraussetzungen für eine erfolgreiche und breit akzeptierte Carbon Management-Strategie“.
- <sup>43</sup> NABU u. a.

<sup>45</sup> Schenuit, Böttcher, und Geden, „Carbon Management“.

<sup>46</sup> acatech, „CCU und CCS – Bausteine für den Klimaschutz in der Industrie. Analyse, Handlungsoptionen und Empfehlungen“, 2018, [https://www.acatech.de/wpcontent/uploads/2018/09/acatech\\_POSITION\\_CCUCCS\\_WEB\\_002\\_final.pdf](https://www.acatech.de/wpcontent/uploads/2018/09/acatech_POSITION_CCUCCS_WEB_002_final.pdf); Bellona, „Manufacturing Our Future: Industries, European Regions and Climate Action. CO<sub>2</sub> Networks for the Ruhr, Rotterdam, Antwerp & the greater Oslo Fjord“.

<sup>47</sup> Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND), „CCS (Carbon Capture and Storage): Falsche Weichenstellung verhindern!“

<sup>48</sup> Klaus Wallmann und ECO<sub>2</sub>-Consortium, „ECO<sub>2</sub> Final Publishable Report. GEOMAR“, 2015, [http://www.eco2-project.eu/ECO2\(265847\)%20Final%20Publishable%20Summary%20Report.pdf](http://www.eco2-project.eu/ECO2(265847)%20Final%20Publishable%20Summary%20Report.pdf).

<sup>49</sup> Bellona Deutschland u. a., „Eine nationale Carbon-Management-Strategie zur Umsetzung von industriellen CCS- und CCU-Projekten in Deutschland und Europa“, 20. Dezember 2022, <https://cloud.vdz-online.de/index.php/s/3b5YX3gmpxcDNXB?fbclid=IwAR1xhxtjM5-Y72iB9CRe0f0QfZTj-Sgi2yHAB7JikdNpmnJ11CMZqHuYMRs>.

<sup>50</sup> Felix Schenuit, „Auf dem Weg zu einem Binnenmarkt für CO<sub>2</sub>“, Tagesspiegel Background Energie & Klima, 27. September 2023, <https://background.tagesspiegel.de/energieklima/auf-dem-weg-zu-einem-binnenmarkt-fuer-co2>.