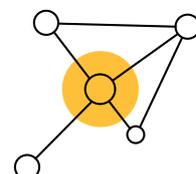
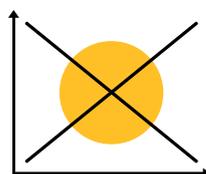
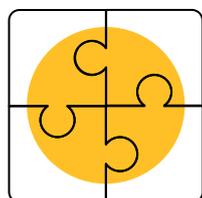


CO₂-Infrastrukturen sind wichtig für ein klimaneutrales Deutschland

Juli 2022



**Energiewirtschaftliches Institut
an der Universität zu Köln gGmbH (EWI)**

Alte Wagenfabrik
Vogelsanger Straße 321a
50827 Köln

Tel.: +49 (0)221 277 29-100

Fax: +49 (0)221 277 29-400

<https://www.ewi.uni-koeln.de>

Verfasst von

Tobias Sprenger

Bitte zitieren als

Sprenger, T. (2022). CO₂-Infrastrukturen sind wichtig für ein klimaneutrales Deutschland. EWI Policy Brief.

Das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (EWI) ist eine gemeinnützige GmbH, die sich der anwendungsnahen Forschung in der Energieökonomik und Energie-Wirtschaftsinformatik widmet und Beratungsprojekte für Wirtschaft, Politik und Gesellschaft durchführt. Annette Becker und Prof. Dr. Marc Oliver Bettzüge bilden die Institutsleitung und führen ein Team von mehr als 40 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Das EWI ist eine Forschungseinrichtung der Kölner Universitätsstiftung. Neben den Einnahmen aus Forschungsprojekten, Analysen und Gutachten für öffentliche und private Auftraggeber wird der wissenschaftliche Betrieb finanziert durch eine institutionelle Förderung des Ministeriums für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE). Die Haftung für Folgeschäden, insbesondere für entgangenen Gewinn oder den Ersatz von Schäden Dritter, ist ausgeschlossen

Kernaussagen

- Eine **CO₂-Infrastruktur** ist wichtig, um zukünftig CO₂-Quellen und CO₂-Senken zu verbinden.
- **CO₂-Quellen:** Bei bestimmten Produktionsprozessen fallen nicht vermeidbare CO₂-Emissionen an; Beispiele sind die Kalk- oder Zementindustrie. Bei diesen Prozessen können Emissionen nur durch CO₂-Abscheidung signifikant verringert werden. Auch technische Senken wie Direct Air Carbon Capture (DACC) und Bio Energy Carbon Capture (BECC) setzen auf CO₂-Abscheidung.
- **CO₂-Senken:** Abgeschiedenes CO₂ kann entweder in der chemischen Industrie genutzt oder geologisch gespeichert werden.
- Entscheidend für den Umfang und die geografische Lage der benötigten CO₂-Infrastrukturen ist die Menge an abgeschiedenen CO₂. Darüber, dass CO₂-Abscheidung in Zukunft notwendig wird, sind sich aktuelle Klimaneutralitätsszenarien einig.
- Die wichtigsten Handlungsfelder sind
 - Akzeptanz in der Bevölkerung sowie rechtliche Rahmenbedingungen zu schaffen,
 - Demonstrationsprojekte & Modellregionen zu starten und
 - Infrastrukturbedarf zu ermitteln und Integration in Infrastrukturplanungen sicherzustellen.

Hintergrund

In vielen Energiesystemstudien wird CO₂-Abscheidung als wichtige Technologie zur CO₂-Reduktion anerkannt. Demnach werden die ersten CO₂-Mengen von über einer Millionen Tonnen in Deutschland bereits im Jahr 2030 abgeschieden (Ariadne, 2021; BDI, 2021; EWI, 2021). Klimaneutralität wird in aktuellen Klimaneutralitätsszenarien¹ nur durch Einsatz verschiedener Technologien zur CO₂-Abscheidung erreicht.

Um langfristig Klimaneutralität zu erreichen, wird daher eine CO₂-Infrastruktur benötigt. Denn auch wenn in der Industrie vollständig erneuerbare Energien genutzt werden, fallen bei manchen Herstellungsprozessen weiterhin technisch nicht vermeidbare CO₂-Emissionen an. Mittel- bis langfristig wird die CO₂-Abscheidung dieser Prozessemissionen wichtig werden. Unabhängig davon, ob das abgeschiedene CO₂ genutzt oder gespeichert wird, muss dieses in jedem Fall transportiert werden - über CO₂-Infrastrukturen wie Pipelines, Schiffe, Züge oder LKW.

Leitungsgebundene Energieinfrastrukturen haben lange Planungshorizonte von 10 bis 15 Jahren. Zunehmende Sektorenkopplung und die Energiewende machen es notwendig Infrastrukturbedarfe früh zu identifizieren, damit diese rechtzeitig verfügbar sind. Daher werden integrierte Infrastrukturplanungen sowie längere Zeithorizonte bei den Netzentwicklungsplänen von 20 bis 30 Jahren vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefordert (BMWK, 2020). CO₂-Infrastrukturen haben dabei große Überschneidungen mit Erdgas- und H₂-

¹ Zu den aktuellen Klimaneutralitätsszenarien zählen: dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität (EWI, 2021), Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland (BMWK, 2021b), Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 (Ariadne, 2021), Klimaneutrales Deutschland 2045 (SKN-Agora, 2021) und BDI-Klimapfade 2.0 (BDI, 2021).

Infrastrukturen und sollten zeitnah in Netzentwicklungspläne integriert werden. Dies würde dazu beitragen CO₂-Abscheidung, -Nutzung und -Speicherung mittelfristig zu ermöglichen.

CO₂-Abscheidung ist ein wichtiges Mittel, um Klimaneutralität zu erreichen. Bereits im Jahr 2005 wurde vom *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) CO₂-Abscheidung und -Speicherung ausführlich untersucht (IPCC, 2005). Im sechsten IPCC-Sachstandsbericht wird CO₂-Abscheidung als kritische Minderungsoption für schwer vermeidbare Emissionen, wie Prozessemissionen in der Industrie, angeführt (IPCC, 2022).

Die Verbindung von Quellen und Senken

Prozessemissionen sind in der Industrie teilweise technisch nicht vermeidbar und fallen z. B. bei der Produktion von Zement, Kalk, Glas und Keramik an. Um Emissionen signifikant zu verringern, muss das entstehende CO₂ abgeschieden werden². Zukünftig wird die Industrie eine zentrale Quelle für CO₂ werden. Das CO₂ wird dann in CO₂-Senken wie der Chemieindustrie genutzt oder geologisch gespeichert.

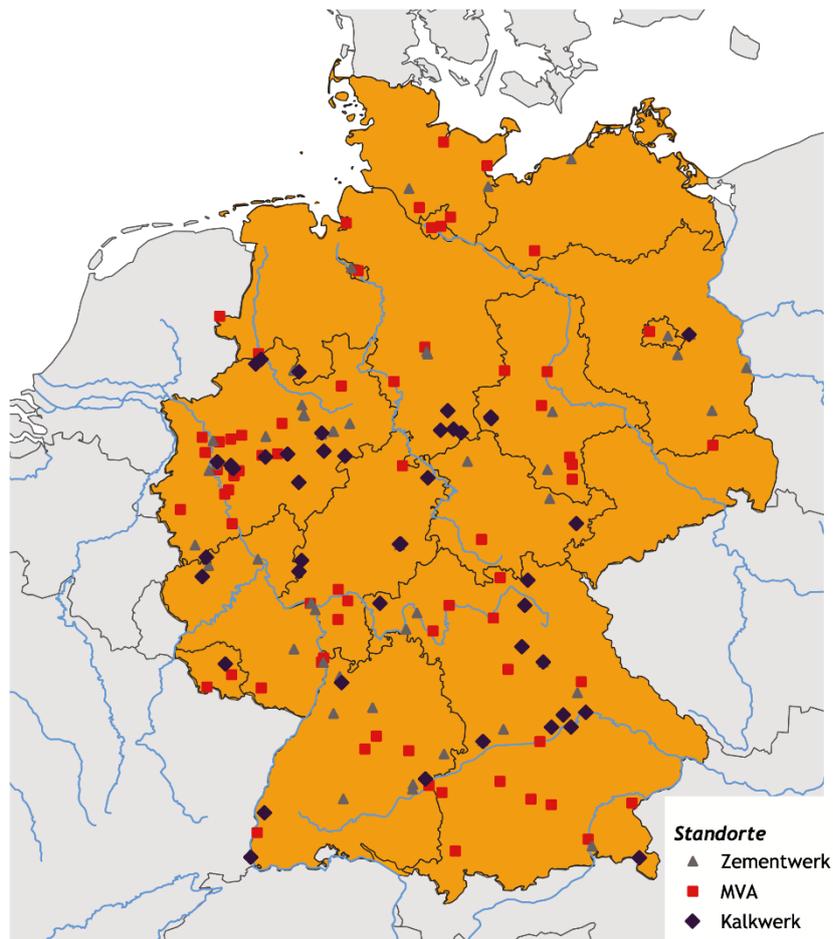


Abbildung 1: Übersicht über Standorte von Kalk- und Zementwerken sowie Müllverbrennungsanlagen (MVA) in Deutschland

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf BVKalk (2022), ITAD (2022), VDZ (2022) und eigenen Recherchen

² Auch bei CO₂-Abscheidung verbleiben Restemissionen, da nicht 100 % des CO₂ abgeschieden werden kann. Es werden i. d. R. durchschnittliche Abscheidungsraten von 90 % angenommen (EWI, 2021).

Die Industrien mit unvermeidbaren Prozess-emissionen liegen geografisch weit über Deutschland verteilt und umfassen viele Produktionsstandorte; Abbildung 1 gibt einen Überblick. Das Problem ist, dass CO₂-Senken - wie die Chemieindustrie oder geologische Speicher - selten in direkter Nähe zu diesen Produktionsstandorten liegen. Diese verteilte Lage bedeutet: bei CO₂-Abscheidung an vielen Standorten ist eine flächendeckende Infrastruktur für den Abtransport notwendig.

CO₂ kann über Pipelines, Schiffe, Züge oder auch LKW transportiert werden. Bei großen zu transportierenden Mengen sind Pipelines geeignet. Dabei können bestehende Erdgasleitungen für den CO₂-Transport umgewidmet werden. Dies kann die Kosten gegenüber einem Neubau reduzieren. Wenn keine Erdgasnetze zur Umwidmung verfügbar sind, können Leitungen neu gebaut oder auf Schiffe zurückgegriffen werden. Hierbei bieten sich beispielsweise umgebaute LPG-Tanker an (Prognos AG, 2021). Züge eignen sich aufgrund ihrer geringeren Transportkapazität für mittlere Mengen. LKW sind bereits heute beim Transport von kleinen Mengen CO₂, z. B. für die Lebensmittelindustrie, relevant (Air Liquide, 2019).

Exkurs: CO₂-Speicherung

CO₂ kann dauerhaft geologisch gespeichert werden. Dazu können ausgediente Öl- und Gaslagerstätten oder so genannte saline Aquifere³ genutzt werden.

Eine Speicherung von CO₂ wird nach jetzigem Stand lediglich im Ausland, wie z. B. in Norwegen, möglich sein⁴. Dazu existieren bereits eine Reihe von Projekten, mit dem Ziel CO₂ zu importieren und dieses geologisch - meist auf See - zu speichern (z. B. *Northern Lights* und *Porthos*⁵).

Ergänzende Maßnahmen zur CO₂-Abscheidung in der Industrie

Trotz der verschiedenen Transportmöglichkeiten wäre eine flächendeckende CO₂-Infrastruktur in Deutschland aufgrund hoher Kosten vermutlich nicht wirtschaftlich umsetzbar. Aufgrund der vielen, und z. T. sehr kleinen, Produktionsstandorte der betroffenen Branchen müssen ergänzende Maßnahmen zur direkten CO₂-Abscheidung an Produktionsanlagen berücksichtigt werden. Dadurch kann die absolute Menge des abzuscheidenden CO₂ verringert werden.

Wenn eine direkte CO₂-Abscheidung aufgrund fehlender Wirtschaftlichkeit oder logistischen Gründen nicht möglich ist, wird bei der Produktion bestimmter Produkte weiterhin CO₂ emittiert. Diese CO₂-Emissionen müssen dann bilanziell ausgeglichen werden, um die jeweiligen Emissions-

Exkurs: CO₂-Nutzung

CO₂ kann als Rohstoff in der Chemieindustrie genutzt werden. Im Jahr 2017 wurde rund 18 Mio. t fossiles CO₂ in der deutschen Chemieindustrie rohstofflich verarbeitet. Größtenteils wird CO₂ für die Herstellung von Kunststoffprodukten eingesetzt (Bringezu et al., 2020).

Eine wichtige Ergänzung zur CO₂-Nutzung ist die Kreislaufwirtschaft. Durch sie wird verhindert, dass das gebundene CO₂ wieder in die Atmosphäre gelangt.

³ Saline Aquifere sind Salzwasserführende Gesteinsschichten. Diese können in ihrer porigen Struktur CO₂ aufnehmen und speichern (Donnermeyer, 2020).

⁴ Mit Ablauf des Jahres 2016 können gemäß „Kohlendioxid-Speicherungsgesetz“ (KSpG) keine CO₂-Speicherprojekte in Deutschland durchgeführt werden - dies kommt einem Verbot gleich. Das KSpG ist eine Umsetzung einer Richtlinie der EU über die geologische Speicherung von Kohlendioxid (Richtlinie 2009/31/EG).

⁵ Mehr Informationen zu den Projekten: „Northern Lights“ northernlights.com & „Porthos“ porthosco2.nl.

ziele und letztlich Klimaneutralität zu erreichen. Geeignet sind dafür so genannte „technische Senken“. Diese stellen CO₂-Entnahmooptionen dar und können als negative CO₂-Emissionen bilanziert werden (Prognos AG, 2021). Im Folgenden werden drei technische Senken vorgestellt.

- Die erste Möglichkeit ist **Direct Air Carbon Capture (DACC)**, also die Abscheidung von CO₂ direkt aus der Luft. Ein Transport von CO₂ über weite Strecken entfällt, wenn Anlagen in Küstennähe für Offshore CO₂-Speicherung oder in der Nähe CO₂-nutzender Industrie betrieben werden. DACC ist ein stromintensives Verfahren und insgesamt eine vergleichsweise teure technische Senke (EWI, 2021).
- Eine weitere Möglichkeit ist **Bioenergy Carbon Capture (BECC)**. Hierbei werden Emissionen aus der energetischen Nutzung von biogenen Energieträgern abgeschieden; z. B. wird Biogas genutzt, um Prozesswärme zu erzeugen. Das abgeschiedene CO₂ wird wie bei DACC anschließend gespeichert oder in der Industrie genutzt.
- Das dritte Anwendungsfeld sind **Müllverbrennungsanlagen (MVA)**. Wenn Produkte, die über Nutzung abgeschiedenen CO₂ erzeugt wurden, energetisch in MVAs verwertet werden⁶, wäre die Bedingung der langfristigen Bindung nicht erfüllt. Um das Entweichen in die Atmosphäre zu verhindern, wird das CO₂ an der MVA abgeschieden und anschließend dem Kohlenstoffkreislauf wieder hinzugefügt oder geologisch gespeichert. Das abgeschiedene CO₂ kann als negative Emission angerechnet werden, wenn das für die Produktion verwendete CO₂ über DACC oder BECC aus der Atmosphäre gewonnen wurde.

Wenn in Bezug auf technische Senken explizit CO₂-Speicherung oder CO₂-Nutzung gemeint sind, wird dies durch den Zusatz von „Storage“ (S) oder „Utilisation“ (U) kenntlich gemacht. Beispielsweise bedeutet „BECCS“, dass CO₂ biogenen Ursprungs nach der Abscheidung geologisch gespeichert wird.

Die CO₂-Mengen sind entscheidend für den Infrastrukturbedarf

Letztlich entscheidend für die Wahl des Transportmediums ist, neben der Herkunft, die zu transportierende Menge an CO₂. Die CO₂-Menge ist entscheidend, um den notwendigen Umfang einer CO₂-Transportinfrastruktur zu bestimmen.

Abbildung 2 gibt eine Übersicht über abgeschiedene Mengen CO₂ mit anschließender geologischer Speicherung in aktuellen Klimaneutralitätsszenarien. Der Vergleich der Szenarien zeigt: der Einsatz von CO₂-Abscheidung wird in allen Studien als notwendig für das Erreichen der Klimaneutralität angesehen. Jedoch wird in den Studien CO₂-Abscheidung in unterschiedlichem Ausmaß eingesetzt.

⁶ Die Verbrennung von Kunststoffabfällen in MVA wird als energetische Verwertung bezeichnet. In den Produkten gebundenes CO₂ entweicht dabei in die Atmosphäre, sofern es nicht abgeschieden wird.

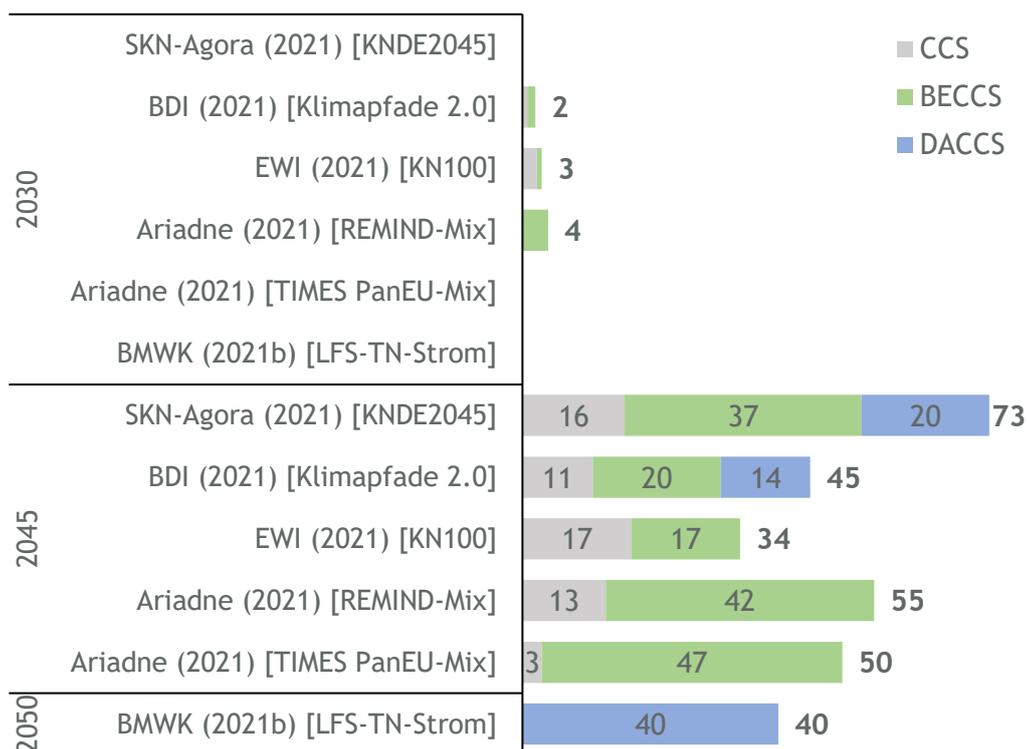


Abbildung 2: CO₂-Abscheidung und geologische Speicherung in aktuellen Klimaneutralitätsszenarien [Mio. t CO₂]

Quelle: Lübbbers et al. (2022) [Szenario in Klammern]

In den Szenarien ist die Menge geologisch gespeicherten CO₂ mit 2-4 Mio. tCO₂/a bis 2030 noch gering. Bis 2045 (2050 für BMWK) wird in einem Umfang von 34-73 Mio. tCO₂/a abgeschieden und gespeichert. Mit der Menge abgeschiedenen CO₂ steigt auch der Bedarf an Transportkapazitäten. Unterschiede finden sich v. a. in den CO₂-Quellen: von CCS, BECCS über DACCS werden unterschiedliche Schwerpunkte im Einsatz der Technologien gesetzt. Für die CO₂-Speicherung der abgeschiedenen Mengen in den Szenarien ist eine CO₂-Infrastruktur notwendig.

Wasserstoff-Infrastrukturen als Blaupause für CO₂-Infrastrukturen

Auf technischer Ebene gibt es große Ähnlichkeiten zwischen CO₂- und Wasserstoff-Infrastrukturen. Für Wasserstoff-Infrastrukturen gibt es bereits einige Akteure, die Planungen vorantreiben (v. a. pipelinebasiert) und Visionen für eine deutsche oder europäische Wasserstoff-Infrastruktur schaffen (z. B. Gas For Climate, 2022 oder FNB Gas, 2022).

Die technischen Voraussetzungen für den CO₂- und Wasserstoff-Transport sind sehr ähnlich. Insbesondere bei einer möglichen Umwidmung von Erdgaspipelines könnte dies zu Nutzungskonkurrenzen führen. Im Gegensatz dazu kann jedoch auch aus den Diskussionen zu Wasserstoff-Infrastrukturen gelernt werden; beispielsweise in Bezug auf regulatorische und technische Hürden. Dies unterstreicht nunmehr, dass eine gemeinsame Planung dieser und weiterer Infrastrukturen sinnvoll ist.

Eine politische Diskussion zu CO₂-Infrastrukturen ist notwendig

In vielen Ländern der EU sowie in Großbritannien wird CO₂-Abscheidung als wichtige Technologie zur Erreichung von Klimaneutralität angesehen. Derzeit existieren in Europa 35 Projekte (Global CCS Institute, 2022) rund um das Thema Abscheidung, Transport und Speicherung. Insbesondere Großbritannien, der Niederlande und Norwegen wird eine führende Rolle in Bezug auf CO₂-Abscheidung und -Infrastrukturen zugeschrieben (Global CCS Institute, 2022).

Deutschland hingegen steht noch am Anfang beim Thema CO₂-Infrastrukturen. CO₂-Abscheidung und damit auch CO₂-Transport wurde in Deutschland durch das Verbot von CO₂-Speicherung im Jahr 2012 in Folge von Akzeptanzproblemen ins politische Abseits gedrängt. Die fehlende Akzeptanz von CO₂-Speicherung wird zum einen Kommunikationsfehlern und zum anderen einer Verzerrung der Risiko- und Nutzenwahrnehmung zugeschrieben. Letztere soll zu einer „Not In My Backyard“-Haltung (NIMBY) geführt haben (Donnermeyer, 2020).

Erste Ansätze zum Thema CO₂-Infrastrukturen in Deutschland finden sich dennoch in einigen Projekten und Ankündigungen wieder:

- Die Förderung von CO₂-Infrastrukturen wurde im Klimaschutzprogramm 2030 unter dem Förderprogramm „CO₂-Vermeidung und -Nutzung in Grundstoffindustrien“ angekündigt. Über einen Förderaufruf hinaus (Einreichungsfrist 15.03.2021) sind noch keine Informationen über den Stand des Programms bekannt (BMWK, 2021a).
- Von der 19. Bundesregierung (CDU/CSU & SPD) wurde ein Dialogprozess angekündigt, der einen Austausch zwischen relevanten Stakeholdern ermöglichen sollte (Deutscher Bundestag, 2021). Über den weiteren Fortschritt des Dialogprozesses ist nichts bekannt.
- Auf europäischer Ebene gibt es von der Europäischen Kommission unter den „Energy Projects of Common Interest“ (PCI) derzeit sechs Projekte im Themenbereich „Grenzüberschreitende Kohlendioxid-Netzwerke“. Das Projekt Athos wird dabei unter Beteiligung Deutschlands aufgeführt. Dieses wurde jedoch bereits vor Veröffentlichung der fünften PCI Liste im September 2021 eingestellt (EC, 2021; Gasunie, 2021).
- Im Koalitionsvertrag von SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP wurde die Notwendigkeit technischer Negativemissionen angeführt. Es soll eine „Langfriststrategie zum Umgang mit den etwa 5 Prozent unvermeidbaren Restemissionen“ erarbeitet werden (SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP, 2021).
- Das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalens (MWIDE) hat im Oktober 2021 in der „Carbon Management Strategie“ Pläne für die Etablierung einer Kohlenstoffwirtschaft in NRW vorgestellt. Darin wurde u. a. angekündigt eine CO₂-Infrastruktur in NRW mit Verbindungen zu benachbarten Regionen zu planen und vorzubereiten (MWIDE, 2021).
- Der Gastransportnetzbetreiber Open Grid Europe (OGE) plant in Kooperation mit Tree Energy Solutions (TES) den (Neu-) Bau eines 964 km langen „CO₂-Startnetzes“. Dieses soll eine Transportkapazität von 18,8 Mio. tCO₂/a aufweisen. Ein erster Teil soll im Jahr 2028 in Betrieb genommen werden (OGE, 2022a/b).

Die Entwicklung von CO₂-Infrastrukturen wird von der Politik derzeit noch nicht mit der erforderlichen Dringlichkeit behandelt - neben Ankündigungen wurde bislang nur wenig Konkretes angestoßen. Es ist Aufgabe der Politik den angekündigten Dialogprozess zu beginnen, die

angekündigte Langfriststrategie zeitnah zu erarbeiten, Projekte auf nationaler und europäischer Ebene weiter voranzubringen und neue Projekte zu starten. Zudem muss der CO₂-Transport zukünftig in Infrastrukturplanungen berücksichtigt werden.

Handlungsempfehlungen für den Hochlauf von CO₂-Infrastrukturen

CO₂-Infrastrukturen spielen auf dem Weg zu einer klimaneutralen Welt eine entscheidende Rolle. Durch die langen Planungshorizonte ist es wichtig, jetzt die Weichen für den Aufbau einer CO₂-Infrastruktur zu stellen. Nur so kann langfristig die Klimaneutralität erreicht werden.

Um den Aufbau einer CO₂-Infrastruktur zu ermöglichen und zu beschleunigen, werden im Folgenden fünf Handlungsfelder vorgestellt:

(1) Um **Akzeptanz** zu schaffen, ist es wichtig, relevanten Stakeholdern die Partizipation zu ermöglichen. Dabei sollten Risiko und Nutzen der CO₂-Abscheidung an verschiedenen Quellen und des Transports zu Nutzern oder ausländischen Speicherstätten offen diskutiert werden.

Sowohl direkt als auch indirekt betroffene Stakeholder müssen mit einbezogen werden, um Akzeptanz für das Thema zu schaffen. Relevante Stakeholder sind beispielsweise die Politik (regional, national und EU), Bürgerinnen, Infrastrukturbetreiber (v. a. Gasnetze), Industrien mit Prozessemissionen, die Chemieindustrie als Nutzer von abgeschiedenem CO₂ sowie das Ausland für die CO₂-Speicherung.

(2) Neben Akzeptanz müssen auch **rechtliche Rahmenbedingungen** für den Bau und Betrieb einer CO₂-Infrastruktur geschaffen werden. Dazu gehört beispielsweise, dass das Amendment zum Artikel 6 des London-Protokolls zum Meeresschutz von Deutschland ratifiziert wird. Erst nach Ratifizierung sind grenzüberschreitender CO₂-Transport und die anschließende geologische Offshore-Speicherung möglich. Diese und weitere notwendige rechtliche Rahmenbedingungen (z. B. Planfeststellungsverfahren und Sicherheitsvorgaben für CO₂-Rohrleitungen) werden im Gutachten Benrath (2021) diskutiert.

(3) Um eine industrielle Skalierung von Abscheidung, Nutzung und Speicherung von CO₂ zu ermöglichen sollten **Demonstrationsprojekte und Modellregionen** geschaffen werden. CO₂-Transport ist grundsätzlich nicht neu: In den USA existieren beispielsweise über 7.000 km CO₂-Pipelines für den Einsatz von CO₂ für „Enhanced Oil Recovery“ (Air Liquide, 2019). In Deutschland jedoch ist das Thema neu und auch neu ist das Ausmaß des zu transportierenden CO₂ und die CO₂-Quellen.

(4) Für die Planung, Vorbereitung und Umsetzung einer CO₂-Infrastruktur ist es wichtig den **Bedarf zu ermitteln**. Der Vergleich aktueller Klimaneutralitätsszenarien zeigt, dass für die Erreichung von Klimaneutralität der Einsatz von CO₂-Abscheidung notwendig ist. Bei der Wahl der jeweiligen Technologien ist das Bild in diesen Studien derzeit noch uneinheitlich. Daher sollte weiter untersucht werden, wie der zukünftige Mix aus Technologien für CO₂-Vermeidung und Negativemissionen in Deutschland aussehen wird.

Neben Studien spielen auch die realen Ambitionen für die Etablierung einer CO₂-Kreislaufwirtschaft sowie Transformationspläne von Industrien mit technisch nicht

vermeidbaren Prozessemissionen eine wichtige Rolle. Auf Basis dieser Ambitionen, Plänen und Szenarien kann der notwendige Umfang und die geografische Verortung von CO₂-Infrastrukturen ermittelt werden.

(5) CO₂-Infrastrukturen sollten in bestehenden und künftigen **Infrastrukturplanungen integriert** werden. Mögliche Nutzungskonkurrenzen und Synergien mit Energienetzen und -infrastrukturen sowie lange Planungs- und Bauzeiten bei Infrastrukturprojekten bedingen eine durchdachte Planung. Eine Ausweitung des Zeithorizontes für Szenarien in den Netzentwicklungsplänen würde ebenfalls zukünftige Planungen robuster machen.

Eine CO₂-Infrastruktur wird benötigt, um Klimaneutralität zu erreichen. Die Abscheidung, Nutzung und geologische Speicherung von CO₂ stellen zentrale Säulen eines klimaneutralen Energiesystems dar. Der Transport von CO₂ zwischen Quellen und Senken muss ermöglicht werden, um langfristig Klimaneutralität zu erreichen. Es ist wichtig, dass die rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen hierfür zeitnah geschaffen werden.

Literaturverzeichnis

Air Liquide (2019) [CO₂ als Rohstoff - gewinnen, transportieren, nutzen.](#)

Ariadne (2021) [Ariadne-Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich.](#)

Benrath, D. (2021) [Rechtliche Rahmenbedingungen einer Kohlendioxidwirtschaft - Gutachten zu Fragestellungen aus der IN4climate.NRW-Arbeitsgruppe Kohlendioxidwirtschaft.](#) Erarbeitet im Auftrag von IN4climate.NRW GmbH, Gelsenkirchen.

Bringezu, S., Kaiser, S., & Turnau, S. (2020) [Zukünftige Nutzung von CO₂ als Rohstoffbasis in der deutschen Chemie- und Kunststoffindustrie - Eine Roadmap.](#) Center for Environmental Systems Research, Universität Kassel.

Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI, 2021) [Klimapfade 2.0 - Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft.](#)

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK, 2020) [Öffentliche Infrastruktur in Deutschland: Probleme und Reformbedarf.](#) Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK, 2021a) [CO₂-Abscheidung und -Nutzung in der Grundstoffindustrie. Förderaufruf CO₂-Abscheidung und -Nutzung in der Grundstoffindustrie.](#)

Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie (BVKalk, 2022) Individuelle Auskunft über deutsche Standorte mit Kalkbrennbetrieb.

Consentec, Fraunhofer ISI, ifeu & TU Berlin (BMWK, 2021b) [Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3.](#)

Deutscher Bundestag (2021) [Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Lukas Köhler, Frank Sitta, Grigorios Aggelidis, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der FDP - Drucksache 19/30054.](#) Drucksache 19/30724.

Donnermeyer, M. (2020) Partizipation schafft Akzeptanz. Lehren aus dem vorläufigen Scheitern der CO₂-Speicherung in Deutschland. In A. Lorenz, C.P. Hoffmann & U. Hutschfeld (ed.), Partizipation für alle und alles? Fallstricke, Grenzen und Möglichkeiten (95-112), Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

European Commission (EC, 2021) [ANNEX to COMMISSION DELEGATED REGULATION \(EU\) .../... amending Regulation \(EU\) No 347/2013 of the European Parliament and of the Council as regards the Union list of projects of common interest.](#)

EWI (2021) [dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Klimaneutralität 2045 - Transformation der Verbrauchssektoren und des Energiesystems.](#) Herausgegeben von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena).

Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas (FNB Gas, 2022) [Netzentwicklungsplan Gas 2022-2032 - Zwischenstand.](#)

Gas For Climate (2022) [European Hydrogen Backbone - A European hydrogen infrastructure vision covering 28 countries.](#) By Amber Grid, Bulgartransgaz, Conexus, CREOS, DESFA, Elering, Enagás, Energinet, Eustream, FGSZ, FluxSwiss, Fluxys Belgium, Gas Connect Austria, Gasgrid Finland,

Gasco, Gasunie, Gas Networks Ireland, GAZ-SYSTEM, GRTgaz, National Grid, NET4GAS, Nordion Energi, OGE, ONTRAS, Plinacro, Plinovodi, REN, Snam, TAG, Teréga, and Transgaz.

Gasunie (2021) [Athos-project ends after Tata Steel decision. Press release.](#)

Global CCS Institute (2022) [Global Status of CCS 2021 - CCS Accelerating to Net Zero.](#)

Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland (ITAD, 2022) [Unsere Mitgliedsanlagen.](#)

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2005) [Carbon Dioxide Capture and Storage.](#)

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2022) [Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change.](#) Working Group III contribution to the IPCC sixth Assessment Report (AR6).

Lübbers, S., Wunsch, M., Lovis, M., Wagner, J., Sensfuß, F., Luderer, G. & Bartels, F. (2022) [Vergleich der „Big 5“ Klimaneutralitätsszenarien.](#)

Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE; 2021) [Kohlenstoff kann Klimaschutz - Carbon Management Strategie Nordrhein-Westfalen.](#)

Open Grid Europe (OGE, 2022a) [OGE und TES entwickeln gemeinsam ein 1.000 km langes CO₂-Transportnetz.](#) Pressemitteilung - 04.04.2022.

Open Grid Europe (OGE, 2022b) [Projektwebseite CO₂-Netz.](#)

Prognos AG (2021) [Technische CO₂-Senken - Techno-ökonomische Analyse ausgewählter CO₂-Negativemissionstechnologien. Kurzugutachten zur dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität.](#) Herausgegeben von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena).

Prognos, Öko-Institut & Wuppertal-Institut (SKN-Agora, 2021) [Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann.](#) Zusammenfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität (SKN), Agora Energiewende und Agora Verkehrswende.

SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP (2021) [Mehr Fortschritt Wagen - Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit.](#) Koalitionsvertrag 2021-2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), Bündnis 90/Die Grünen und den Freien Demokraten (FDP).

Verein Deutscher Zementwerke (VDZ, 2022) [Zementindustrie in Deutschland.](#)