

Pfeiffer, Johannes; Pittel, Karen

Article

Abscheidung und Speicherung von CO und "schwer oder nicht vermeidbare Emissionen"

Wirtschaftsdienst

Suggested Citation: Pfeiffer, Johannes; Pittel, Karen (2024) : Abscheidung und Speicherung von CO und "schwer oder nicht vermeidbare Emissionen", Wirtschaftsdienst, ISSN 1613-978X, Sciendo, Warsaw, Vol. 104, Iss. 7, pp. 462-469, <https://doi.org/10.2478/wd-2024-0121>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/301383>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Johannes Pfeiffer, Karen Pittel

Abscheidung und Speicherung von CO₂ und „schwer oder nicht vermeidbare Emissionen“

Es besteht mittlerweile ein Konsens, dass die CO₂-Abscheidung und Speicherung (CSS) eine Rolle bei der Erreichung von Klimaneutralität spielen sollte. Vor dem Hintergrund der nationalen und internationalen Entwicklung stellt sich die Frage, welche Emissionen überhaupt über CCS gemindert werden sollen (oder dürfen). Zudem ist zu klären, was dabei unter „schwer und nicht vermeidbaren Emissionen“ im Kontext von CCS zu verstehen ist und ob eine solche Fokussierung sinnvoll ist.

Seit dem Verbot von kommerzieller CO₂-Abscheidung und Speicherung (Carbon Capture and Storage, CCS) in Deutschland im Jahr 2012 galt CCS in Politik und Öffentlichkeit als eine Technologie, die für Deutschland nicht mehr zur Diskussion stand. Peripher wurde wahrgenommen, dass die Akzeptanz von CCS in anderen Ländern höher war und die EU weiter auf CCS als Teil ihres Arsenal zur Verminderung von Emissionen setzte. Erst nachdem 2019 das Klimaschutzgesetz die Klimaneutralität bis 2045 explizit als Ziel formuliert hat, nahm das Bewusstsein zu, dass dieses Ziel ohne CCS kaum zu erreichen sein wird. Diese veränderte Wahrnehmung spiegelt sich in den 2024 veröffentlichten Eckpunkten der deutschen Carbon Management-Strategie (CMS) und der Langfriststrategie Negativemissionen zum Umgang mit unvermeidbaren Restemissionen

wider (BMWK 2024a; BMWK 2024b). Es wird nicht nur anerkannt, dass CCS eine Rolle bei der Erreichung von Klimaneutralität spielen muss, sondern auch dass auf CCS basierende negative Emissionen notwendig sein werden, um ein Überschießen der globalen Erwärmung über die Ziele des Pariser Klimaabkommens hinaus rückgängig zu machen. Eine grundlegende Frage dabei ist, welche Emissionen überhaupt über CCS gemindert werden sollen (oder dürfen). Dies hat naturgemäß Rückwirkungen auf die Menge der Emissionen, für die eine Einspeicherung infrage kommt, und damit ebenfalls auf die Technologieentwicklung, den Infrastrukturausbau und die Ausgestaltung von Regulierung. Ein immer wieder auftauchender Begriff in diesem Zusammenhang ist der der „schwer und nicht vermeidbaren Emissionen“. Der vorliegende Beitrag widmet sich vor dem Hintergrund der nationalen und internationalen Entwicklung von CCS primär den Fragen, was unter schwer und nicht vermeidbaren Emissionen im Kontext von CCS zu verstehen ist und ob eine solche Fokussierung sinnvoll erscheint.¹

© Der/die Autor:in 2024. Open Access: Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht (creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de).

Open Access wird durch die ZBW – Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft gefördert.

Der Stand von CCS-Projekten

International wahrgenommen wurde CCS als umsetzbare Technologie zum ersten Mal durch das norwegische Projekt Sleipner, welches seit 1996 CO₂ in der Nordsee verpresst (Deutscher Bundestag, 2022). Bereits vorher existierten Projekte in den USA, die CO₂-

Dr. Johannes Pfeiffer ist Referent der acatech Geschäftsstelle im Akademienprojekt Energiesysteme der Zukunft.

Prof. Dr. Karen Pittel ist Professorin für Volkswirtschaftslehre an der Ludwig-Maximilians-Universität München und leitet das Zentrum für Energie, Klima und Ressourcen am ifo Institut.

¹ Kohlenstoffmanagement umfasst außer der Vermeidung von Emissionen durch Einspeicherung auch die Verzögerung von Emissionen durch Abscheidung und Nutzung in Industrieprozessen (Carbon Capture and Utilization, CCU) sowie die CO₂-Entfernung aus der Atmosphäre (Carbon Dioxide Removal, CDR) zum Ausgleich von Restemissionen und Erreichen netto-negativer Emissionen (Pfeiffer et al., 2024; Schenuit et al., 2023). Im vorliegenden Beitrag liegt der Fokus auf der Vermeidung durch CCS, die Ausführungen können aber auf die Abscheidung und Nutzung sowie den Ausgleich von Emissionen übertragen werden.

Verpressung zur Erhöhung der Förderraten fossiler Energieträger (enhanced recovery) nutzen. Die geologische Speicherung von CO₂ wird heute aber auch in anderen Ländern (z.B. Kanada, Brasilien, China und Saudi-Arabien) eingesetzt. Laut dem Global CCS Institute (2023b) waren 2023 insgesamt 41 Projekte in Betrieb (mit Kapazitäten von 49 Mio. t CO₂), 26 im Bau und 325 in fortgeschrittener und früher Entwicklung. Nach Umsetzung würde die Gesamtkapazität aus diesen Projekten 361 Mio. t CO₂ pro Jahr betragen. Nach Einschätzung der IEA (2023a) könnte die zunehmende Dynamik bei Projekten zur Abscheidung von CO₂ zwar ausreichen, um die im IEA Net Zero Szenario für 2030 global erforderlichen Kapazitäten zu erreichen, allerdings bliebe der Ausbau von CO₂-Transport- und Speicherinfrastrukturen, trotz ebenfalls zunehmender Dynamik, hinter dem erforderlichen Hochlauf zurück (IEA, 2024).²

In Deutschland wurde vor Inkrafttreten des Kohlendioxidspeicherungsgesetzes (KSpG) 2012 nur ein CCS-Pilotprojekt (LBEG, 2024; GFZ, 2024) umgesetzt. Seit 2012 ist die kommerzielle Anwendung von CCS verboten. CCS zu Erprobungszwecken war nur in mengenmäßig beschränktem Umfang und nur bei Genehmigung der Kohlendioxidspeicher bis 2016 möglich (KSpG, 2012). Die EU hat CCS im Gegensatz dazu seit Langem als Teil ihrer Klimaschutzstrategie gesehen. Die EU-Kommission bezeichnete sie 2009 als „Brückentechnologie, die zur Abschwächung des Klimawandels beiträgt“ (EU, 2009). Trotzdem wurden bisher kaum CCS-Projekte in der EU umgesetzt, wobei die Entwicklung der vergangenen Jahre dynamisch ist und immer mehr EU-Mitgliedstaaten CCS-Projekte planen und finanzielle Unterstützung zusagen.³ In anderen Mitgliedstaaten wird, wie in Deutschland, die Aufhebung von CCS-Einschränkungen zumindest diskutiert (z.B. Steinger (2023) für Österreich).

Welche Emissionen dürfen abgeschieden und eingespeichert werden?

Die Eckpunkte der deutschen Carbon Management-Strategie betrachten CCS insbesondere für „schwer und nicht vermeidbare“ Emissionen als notwendig. Konkret benennen sie hierbei die Kalk- und Zementpro-

duktion sowie die thermische Abfallbehandlung.⁴ Als mögliche Anwendungsgebiete von CCS/CCU verweisen sie aber auch auf weitere Industrieprozesse, „solange [bei diesen] die Umstellung auf Elektrifizierung oder Wasserstoff absehbar noch nicht kosteneffizient möglich ist“ (BMWK, 2024a). So soll einerseits rechtlich der Einsatz von CCS in Deutschland breit ermöglicht werden mit Ausnahme des Transports von CO₂ aus Kohlekraftwerken über Kohlendioxidleitungsnetze.⁵ Andererseits soll „[d]ie staatliche Förderung für CCS/CCU [...] auf schwer oder nicht vermeidbare Emissionen fokussiert“ werden (BMWK, 2024a). Welche Förderschwerpunkte gesetzt werden, steht im Detail noch aus, außer dass – anders als bei Kohlekraftwerken – CCS für Erdgaskraftwerke rechtlich zulässig, aber nicht förderfähig sein soll.

Auch die EU-Kommission verweist in ihrer Strategie zum industriellen Kohlenstoffmanagement darauf, dass dieses Management insbesondere für technisch schwer vermeidbare Prozessemissionen der Industrie wichtig sei (EC, 2024a). Eine Lenkung oder Einschränkung der Anwendung von CCS ist auf EU-Ebene aber weder aus dieser Strategie noch aus Szenarioanalysen zum EU-2040-Klimaziel Impact Assessment oder den aktuellen Regelungen des EU-Emissionshandelssystems (EU-EHS) (auch EU Emission Trading System, EU ETS) absehbar. CCS ist in der EU damit auch in Kombination mit Stromerzeugung aus Kohle erlaubt und im EU ETS unabhängig vom Ursprung des abgeschiedenen und eingespeicherten fossilen CO₂ anrechenbar.

International wird weit weniger stark auf den Begriff schwer vermeidbarer Emissionen abgestellt und sehr eindeutig auch mit der Abscheidung und Einspeicherung von Emissionen aus Kohlekraftwerken gerechnet,⁶ auch um die Gefahr von Stranded Assets zu reduzieren (Schenuit et al., 2023). Die Internationale Energieagentur (IEA, 2020) prognostiziert in ihrem Sustainable Development Szenario, dass 2050 noch erhebliche Mengen an CO₂-Emissionen aus dem Einsatz von Kohle und

2 Unter anderem da der bisherige Ausbau hinter den Erwartungen zurückblieb, sieht das 2023 aktualisierte globale Net-Zero-Szenario der IEA gegenüber 2021 eine geringere Rolle von CCS-/CCU-Technologien global vor (IEA, 2023b).

3 Siehe Global CCS Institute (2023a) für eine Übersicht über verschiedene EU-Mitgliedsstaaten und Danish Energy Agency (2024) für ein konkretes Beispiel.

4 In diesen Bereichen ist es weitgehend unumstritten, dass auch zukünftig Treibhausgas(THG-)emissionen anfallen werden.

5 Vgl. dazu auch den Referentenentwurf zur Änderung des KSpG (BMWK, 2024c).

6 Der IPCC weist darauf hin, dass zwar die Bedeutung fossiler Ressourcen im Energiesystem bei Erreichen der Klimaschutzziele in entsprechenden Szenarien insgesamt abnimmt, aber verbleibende Kohlekraftwerkskapazitäten etwa für eine Begrenzung der Erderwärmung auf 2 °C bis spätestens 2060 nahezu vollständig mit CCS betrieben werden müssten. Er betont auch, dass der gegenwärtige Aufbau der CCS-Kapazitäten weltweit weit hinter dem zurückbleibt, der nach den betrachteten Klimaschutzzszenarien notwendig wäre (IPCC, 2022).

Erdgas in der Stromerzeugung stammen werden.⁷ In China ist 2023 z. B. ein CCS-Projekt zur Einspeicherung von CO₂ aus einem Kohlekraftwerk mit einer Kapazität von 0,5 Mio. t CO₂ pro Jahr in Betrieb gegangen (Xinhua, 2023). In den USA veröffentlichte das Environmental Protection Agency im April 2024 Richtlinien, nach denen bestehende Kohlekraftwerke spätestens bis 2032 auf eine 90 %-ige Reduktion ihrer Emissionsraten kommen müssen, wenn sie nach 2039 weiter operieren wollen. Kraftwerke, die dies bis 2032 nicht erreichen, müssen 2039 schließen (EPA, 2024).

Was ist unter „schwer und nicht vermeidbaren Emissionen“ zu verstehen?

Typischerweise werden schwer und nicht vermeidbare Emissionen aus technischer und/oder kostenbasierter Perspektive abgegrenzt.⁸ Ausgehend von einer technischen Definition kann darunter Produktion oder Konsum verstanden werden, bei denen CO₂ entsteht, aber keine alternativen Produktionsverfahren vorhanden sind (z. B. im Landwirtschaftssektor oder im Rahmen von Prozessemissionen der Industrie). Diese Abgrenzung erscheint klar, wenn es um alternative Produktionstechnologien für dasselbe Produkt geht (z. B. Strom aus fossilen Kraftwerken, wie Kohlekraftwerken, vs. Strom aus erneuerbaren Anlagen). Weniger klar ist die Abgrenzung allerdings hinsichtlich eng verwandter Substitute (etwa Hausbau aus Holz vs. Einsatz von Zement).

Alternativ zu einer Abgrenzung über technische Aspekte kommt eine auf den Kosten der Alternativtechnologien basierende Abgrenzung infrage. Für Technologien, bei denen Emissionen (noch) nicht vermeidbar sind, wären die Vermeidungskosten entsprechend unendlich hoch. Darüber hinaus ist die Abgrenzung schwer vermeidbarer Emissionen aus ökonomischer Perspektive allerdings weit weniger klar. Die Eckpunkte zur CMS verweisen auf Anwendungen in der Industrie, bei denen die Vermeidung „absehbar noch nicht kosteneffizient“ (BMWK, 2024a) möglich ist, ohne den Begriff der Kosteneffizienz hier näher einzuordnen. Eine dezidierte Aus- oder Abgrenzung bestimmter Technologien stellt diese Formulierung nicht dar. Das Prinzip der Kosteneffizienz liegt schon dem EU ETS zugrunde. Eine Anle-

nung an den EU ETS würde eine klar kommunizierbare Kostengrenze konstituieren, welche technologische Entwicklungen und steigende Grenzkosten der Vermeidung quasi automatisch berücksichtigt. Dafür bräuchte es allerdings keine Spezifikation als schwer vermeidbare Emissionen.

Schlussendlich kann neben technischen oder kostenbasierten Kriterien auch die gesellschaftliche Bereitschaft, auf gewisse mit Emissionen verbundene Produkte zu verzichten, also die Lebensgewohnheiten zu ändern, eine wesentliche Rolle für die „Vermeidbarkeit“ von Emissionen spielen. Die Berücksichtigung dieses Aspekts bei der Definition schwer vermeidbarer Emissionen würde den Druck auf eine Änderung der Lebensgewohnheiten reduzieren und die notwendige Menge an CCS erhöhen.⁹ Wie die Einbeziehung gesellschaftlicher Aspekte konkret aussehen könnte, ist unklar.¹⁰

Unabhängig davon, welche Abgrenzung oder Kombination der genannten Kriterien gewählt wird, müssten potenzielle Grenzwerte und Technologielisten auf jeden Fall über die Zeit flexibel gehandhabt werden, d. h. dynamischer Natur sein, um technologischen Entwicklungen oder Änderungen von Verhaltensgewohnheiten Rechnung zu tragen. Eine wissenschaftlich fundierte, eindeutige Antwort auf die Frage, wie schwer vermeidbare Emissionen abgegrenzt werden sollten und wie deren Entwicklung über die Zeit aussieht, scheint insgesamt nicht möglich, sondern kann, soweit erforderlich oder gewünscht, nur politisch entschieden werden.

Warum CCS auf „schwer und nicht vermeidbare Emissionen“ fokussieren?

Verschiedene Argumente werden für eine Ab- und Eingrenzung von CCS gegenüber „konventionellen“ Maßnahmen der Emissionsvermeidung angeführt. Einige zentrale sollen hier aus ökonomischer Sicht diskutiert werden:

Gefahr von Lock-ins: Eine häufig geäußerte Befürchtung ist, dass CCS die Anreize für einen Umstieg auf alternative klimafreundliche Technologien mindert und die Nutzung fossiler Ressourcen unnötig verlängert.

7 Für die EU wird in den Szenarien des EU Impact Assessments zum Vorschlag eines 2040-Klimaziels davon ausgegangen, dass 2050 von insgesamt 452 Mio. t CO₂, die jährlich aufgefangen (aber nicht vollständig geologisch gespeichert) werden, 55 Mio. t CO₂ aus dem verbleibenden Einsatz fossiler Energieträger im Energiesystem stammen werden (EC, 2024b).

8 Schwer vermeidbare Emissionen sind grundsätzlich auch zu unterscheiden von den Restemissionen. Letztere stellen die THG-Emissionen dar, die (2045 oder später) tatsächlich noch in die Atmosphäre freigesetzt werden (Pfeiffer et al., 2024; Schenuit et al., 2023).

9 Szenarioanalysen zeigen, dass gesellschaftlicher Wandel hin zu nachhaltigeren Lebensstilen die Anwendung von CCS zwar nicht überflüssig macht, aber doch reduziert, vgl. etwa das „LIFE-Szenario“ in EC (2024b) oder die Abschätzungen von Herfort et al. (2023) für Deutschland.

10 Im EU ETS schlagen sich verfestigte Verhaltensgewohnheiten tendenziell in höheren Zertifikatpreisen nieder, insbesondere wenn die betreffenden Sektoren in den Anwendungsbereich des EU-ETS fallen. Auch derartige gesellschaftliche Aspekte wären daher erfasst, wenn das EU ETS und ein bestimmtes Niveau der Zertifikatpreise zur Abgrenzung von „schwer vermeidbar“ herangezogen würden.

Dabei wird bezüglich der Dringlichkeit eines Ausstiegs aus fossilen Energieträgern nicht nur auf die Vermeidung von THG-Emissionen verwiesen, sondern auch auf die Reduzierung weiterer negativer Umwelt- und Gesundheitseffekte, sogenannte Secondary Benefits der Klimapolitik (vgl. z. B. WBGU, 2021; EEB, 2024). Allerdings zeigen Szenarioanalysen von Shu et al. (2023) für Deutschland auch, dass der Einsatz von CCS über den reinen Klimaschutzeffekt hinaus zu nachhaltigeren Klimaschutzpfaden beitragen kann.¹¹ Angesichts des bestehenden breiten klimapolitischen Instrumentenmix und der begrenzten Wettbewerbsfähigkeit von CCS in vielen Anwendungen erscheint das Argument einer Verzögerung des Ausstiegs aus fossilen Energieträgern aber auch darüber hinaus zumindest für Deutschland (und Europa) in vielen Fällen nicht schlüssig. Der Ausstieg aus der Kohleverstromung ist etwa bis spätestens 2038 ohnehin beschlossen. Hier könnte höchstens ein Aufweichen des Kohleausstiegs entsprechend einer ähnlichen Regelung wie in den USA befürchtet werden. Im Hinblick auf Gaskraftwerke wiederum erscheint es klar, dass es aus Versorgungssicherheitsgründen noch länger regelbarer Kraftwerke bedürfen wird. Auch wenn eine Umrüstung auf Wasserstoff im Zeitraum 2035 bis 2040 in der Kraftwerkstrategie vorgesehen ist, ist noch nicht gesichert, dass zu diesem Zeitpunkt ausreichend Wasserstoff zur Verfügung stehen wird. Erdgaskraftwerke mit CCS könnten daher eine Übergangslösung darstellen.¹² Ähnlich wäre der Einsatz von CCS in der Industrie zu werten, soweit dort, wie in der Stahlherstellung, prinzipiell alternative Klimaschutztechnologien verfügbar sind.

Eine wesentliche Rolle für die Anreizwirkung von CCS auf Klimaschutzanstrengungen spielt auch die Emissionsbepreisung durch den EU-ETS. Hier wird sich eine Vermeidung über CCS erst lohnen, wenn erwartet wird, dass die CO₂-Preise langfristig die Kosten von CCS und die erwarteten Kosten des Umstiegs auf andere Technologien übersteigen. Für CCS an Punktemissionsquellen (Kraftwerke, Industrieanlagen) wird häufig von einer Spanne von 50 bis 150 Euro/t CO₂ ausgegangen (Schenuit et al., 2023), wobei die Unsicherheiten

aufgrund unterschiedlicher Reifegrade der Technologien substantiell sind.¹³ Schätzungen für CO₂-Preise im Jahr 2030 kommen demgegenüber auf 130 bis 160 Euro/t CO₂ (Luderer et al., 2021). Trotzdem ist die Investitionsbereitschaft für CCS heute ohne staatliche Förderung aufgrund hoher Unsicherheit über die Verfügbarkeit geeigneter CO₂-Transportinfrastrukturen und über die Kosten oft noch gering. Auch sind Abscheideraten von 100 % CO₂ technisch nicht realisierbar¹⁴, so dass zusätzlich zu CCS nach wie vor in gewissem Umfang Zertifikate erworben werden müssen. Insbesondere bei steigenden Zertifikatepreisen reduziert dies die wirtschaftliche Perspektive von CCS weiter und führt in Szenariorechnungen zum europäischen Energiesystem etwa allein zu einer Verdrängung von Kohlekraftwerken selbst mit CCS (Holz et al., 2021).¹⁵ Die Gefahr eines Lock-ins in fossile Technologien erscheint damit insgesamt eher gering.

Begrenzte absolute Speicherpotenziale: Ein weiterer Grund für die Beschränkung auf schwer und nicht vermeidbare Emissionen könnte die begrenzte Verfügbarkeit von unterirdischen CO₂-Speichern sein – zumindest falls erwartet würde, dass sich eine solche Knappheit nicht in den Preisen für Speicherraum widerspiegelt. Inwieweit Speicherraum überhaupt eine knappe Ressource sein wird, erscheint allerdings trotz sehr unterschiedlicher und zum Teil widersprüchlicher Angaben zum globalen Speicherpotenzial in der Literatur durchaus nicht gesichert. Die IEA (2020) schätzt das globale geologische Speicherpotenzial auf 8.000 Gt CO₂ bis 55.000 Gt CO₂. Für Europa liegt die geschätzte Kapazität bei 300 Gt CO₂ (IEA, 2020; Luderer et al., 2021) und für Deutschland bei ca. 20 Gt CO₂, davon 16 Gt CO₂ Onshore und 3,8 Gt CO₂ Offshore (Luderer et al., 2021). Der IPCC geht hingegen nur von einem globalen Speicherpotenzial von ca. 1.000 Gt aus, betont aber, dass die geologischen Speicherpotenziale ausreichend seien, um die gesamten Speicherbedarfe bis 2100 entlang

11 Shu et al. (2023) analysieren unterschiedliche Entwicklungspfade des Energiesystems hin zu Netto-Null-Emissionen unter Einbezug von Lebenszyklus-Aspekten der eingesetzten Technologien. Der Einsatz von CCS kann zu einem nachhaltigeren Entwicklungspfad beitragen, indem etwa erneuerbare Energien weniger auch an Standorten mit ungünstigeren Wind- oder Sonnenbedingungen errichtet werden müssen und damit Investitionen in Technologien und Infrastruktur mit vergleichsweise hohem Materialbedarf vermieden werden können.

12 Die mögliche energiewirtschaftliche Bedeutung von CCS bei Erdgaskraftwerken wird in Pfeiffer et al. (2024) ausführlicher und in der Gegenüberstellung zum Einsatz von blauem Wasserstoff in Wasserstoffkraftwerken diskutiert.

13 Vgl. etwa Itul et al. (2023) mit Kostenschätzungen von u. a. IEA (2020) und ZEP (2011): IEA (2020) Schätzungen zu CO₂-Abscheidung, z. B. Erdgasaufbereitung 15 bis 25 US-\$/t CO₂ und Stahlindustrie 40 bis 100 US-\$/t CO₂, und zu pipelinegebundenem Transport (250 km Distanz, Kapazität von 10 Mio. t CO₂ pro Jahr) 2,2 bis 5,2 US-\$/t CO₂. ZEP (2011) Schätzung zu Einspeicherung in der EU: 1 bis 20 Euro/t CO₂.

14 Ausgegangen wird, zumindest für Neuanlagen, häufig von Abscheideraten um die 90 % (z. B. IPCC, 2022). In der Praxis werden so hohe Abscheideraten bislang allerdings teils deutlich verfehlt (Bacilieri et al., 2023).

15 Die EU-CCS-Richtlinie (EU, 2009) sieht weiterhin ein Haftungsregime für Leckagen (sowohl bei Transport als auch aus Speicher) vor, nachdem für entwichenes CO₂ Zertifikate abgegeben werden müssen. Das damit verbundene wirtschaftliche Risiko dürfte die Attraktivität von Investitionen in CCS weiter senken. Mit Blick auf den Einsatz an Gaskraftwerken kündigen die Eckpunkte zur deutschen Carbon Management-Strategie zudem an, dass rechtssichere Wege ausgelotet werden sollen, um den Einsatz von fossilem Erdgas in Gaskraftwerken mit CCS nicht über 2045 hinaus zuzulassen.

von 1,5 °C-Klimaschutzszenariopfad zu decken (IPCC, 2023).¹⁶

Beschränkte Erschließung von CCS-Kapazitäten: Als Engpass stellen sich derzeit weniger die absoluten Speicherkapazitäten als die Geschwindigkeit dar, mit der die Speicher erschlossen und die notwendige Transportinfrastruktur errichtet werden kann. So erscheint das Ziel der EU, bis 2030 eine jährliche Einspeicherung von 50 Mio. t CO₂ zu erreichen (250 Mio. t CO₂ im Jahr 2040; EC, 2024a), aufgrund der notwendigen Vorlaufzeiten für Infrastrukturbau und Speicherschließung ambitioniert (ESABCC, 2024).¹⁷ Aus dieser Knappheit jährlicher Einspeichermengen können sich Nutzungskonflikte zwischen verschiedenen CCS-Anwendungen, insbesondere zwischen dem Einsatz von CCS an (fossilen) Punktmissionsquellen und CCS-basierten Negativemissionen (BECCS, DACCS) ergeben, die mit Blick auf die Klimaziele 2045 und darüber hinaus notwendig sein werden. Zumindest so lange für den Aufbau der Negativemissionen noch keine starken rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen vorliegen, kann dann eine stärkere staatliche Priorisierung und Beschränkung von CCS für bestimmte Anwendungsbereiche sinnvoll sein.

Gesellschaftliche Akzeptanz: Es kann auch argumentiert werden, dass eine (vermeintlich) klare Eingrenzung der Rolle von CCS und Kohlenstoffmanagement auf schwer vermeidbare Emissionen dem notwendigen gesellschaftlichen Rückhalt dient. Insbesondere in Deutschland steht dahinter das Ziel, sich möglichst deutlich von der früheren kontroversen Diskussion um CCS abzugrenzen. Vor diesem Hintergrund ist etwa der explizite Ausschluss von CCS an Kohlekraftwerken in den deutschen CMS-Eckpunkten erklärbar, das Zulassen von CCS für Gaskraftwerke überraschend und die bislang fehlende Erläuterung dieses Schritts nicht unproblematisch (Pfeiffer et al., 2024). In Bezug auf Akzeptanz fanden Dütschke et al. (2016) bereits 2015 im Rahmen einer Umfrage, dass CCS im Kon-

text von Biomasse und in der Industrie in Deutschland positiver bewertet wird als für Kohlekraftwerke. Zu einem ähnlichen Ergebnis kam auch eine Umfrage des Wuppertal Instituts aus dem Jahre 2023. Dieser zufolge sehen nur ca. 12 % der Befragten aus Nordrhein-Westfalen die Nutzung von CCS durch die Industrie negativ (Witte et al., 2023). Akzeptanzprobleme ergeben sich auch in anderen EU-Mitgliedstaaten. Die bislang gegenüber CCS sehr offene Haltung, die etwa in der EU-Strategie zum industriellen Kohlenstoffmanagement zum Ausdruck kommt, birgt insofern gewisses innereuropäisches Konfliktpotenzial über den weiteren klimapolitischen Kurs (Schenuit und Geden, 2024).

Risiken von CCS: Auch die Risiken, die mit der Abscheidung, dem Transport und der Einspeicherung von CO₂ einhergehen, können zu dem Wunsch beitragen, die einzuspeichernden Mengen möglichst gering zu halten. Risiken können sich grundsätzlich entlang der gesamten CCS-Prozesskette ergeben (siehe auch Deutscher Bundestag, 2022). Sie reichen über Leckagen und die Kontaminierung von Grundwasser bis zur Auslösung von Erdbeben.¹⁸ Viele Risiken können allerdings durch entsprechende Anforderungen an Technologien und Speicherorte unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten sowie durch sorgfältiges Monitoring reduziert werden. So stellt etwa der IPCC (2023) fest, dass bei angemessener Auswahl und Management der geologischen Lagerstätte CO₂ voraussichtlich dauerhaft der Atmosphäre entzogen werden kann. Wirkliche Langzeiterfahrungen mit großskaliger CO₂-Einspeicherung liegen aber naturgemäß nur sehr eingeschränkt vor. Entsprechend variiert die Beurteilung potenzieller Gefahren massiv.¹⁹

Was folgt aus dieser Diskussion für die Klimapolitik?

Insgesamt überzeugt es aus unserer Sicht mehr, den Begriff der schwer vermeidbaren Emissionen nicht als direkt umzusetzenden regulatorischen Ansatz zu verstehen. Schon aufgrund der Probleme der belastbaren Eingrenzung schwer vermeidbarer Emissionen wäre eine direkte, strikte regulatorische Abgrenzung stark angreifbar, fehleranfällig und mit gesamtwirtschaftlichen Risiken verbunden. Die möglichen Gründe für eine Abgrenzung schwer vermeidbarer Emissionen sind, zumindest aus ökonomischer Sicht, entweder nicht schlüssig oder besser durch gezieltere Instrumente zu

16 Schätzungen der globalen kumulierten Bedarfe an netto-negativen Emissionen zur Erreichung des 1,5 °C-Ziels können – in Abhängigkeit der Emissionen bis zur Klimaneutralität – durchaus 400 Gt CO₂ bis zum Jahr 2100 erreichen (IPCC, 2022; Schleussner et al., 2024). Auch wenn die geologische Speicherung und damit CCS-basierte Negativemissionen gewisse Vorteile mit Blick auf die Zuverlässigkeit und Langfristigkeit der Speicherung bieten, können diese Bedarfe teils auch durch andere Ansätze und Technologien bereitgestellt werden. Durchaus substanzielle (technische) Potenziale werden z. B. Aufforstung, beschleunigter Gesteinsverwitterung, Biochar (Pflanzenkohle) und Bodenkohlenstoffsequestrierung zugerechnet. Für einen Überblick über geschätzte Potenziale, siehe z. B. Pfeiffer und Pittel (2021).

17 Vgl. auch die Diskussion der notwendigen Skalierungsgeschwindigkeit für unterschiedliche CCS-Ausbauniveaus im Jahr 2045 in Luderer et al. (2021, 230).

18 Für eine Meta-Analyse der Literatur zu Risiken von CO₂-Abscheidung, -Transport und -Speicherung siehe Mahjour und Faroughi (2023).

19 Vgl. z. B. Loria und Bright (2021) gegenüber UBA (2023) und Denk (2024).

adressieren. Letzteres gilt etwa für ökologische Risiken von CCS oder Risiken der möglichen Wiederfreisetzung gespeicherten CO₂.

Dass die deutsche CMS offensichtlich von dem Versuch absieht, zulässige Anwendungen von CCS entlang einer politischen Festlegung schwer vermeidbarer Emissionen zu definieren und stattdessen CCS im Grundsatz breiter ermöglicht werden soll (mit Ausnahme der Kohlekraftwerke), ist vor diesem Hintergrund zu begrüßen. Der in den Eckpunkten enthaltene Hinweis, dass „staatliche Förderung für CCS/CCU ... auf schwer vermeidbare Emissionen fokussiert“ (BMWK, 2024a, 2) werden soll, geht jedoch über eine rein beschreibende Interpretation schwer vermeidbarer Emissionen hinaus. Die damit beabsichtigte Lenkungswirkung dürfte wegen der begrenzten Wettbewerbsfähigkeit von CCS aktuell hoch sein (Pfeiffer et al., 2024).

Eine staatliche Förderung von CCS, auch in Ergänzung zum EU ETS, ist mit Blick auf die begrenzten Zeiträume für das Erreichen von Klimaneutralität und Entwicklungsstand und Wettbewerbsfähigkeit der Technologien durchaus sinnvoll und kann gerade in der aktuell frühen Phase des Markthochlaufs zur Kostendegression beitragen. Für die Infrastrukturentwicklung und schon aufgrund begrenzter Haushaltsmittel werden allerdings tatsächlich gewisse Prioritäten gesetzt werden müssen. Der Verweis auf schwer vermeidbare Emissionen lässt hier eine genauere Festlegung der Förderkriterien offen und bietet so noch erhebliche politische Spielräume/Einflussmöglichkeiten. Um Anwendung und Markthochlauf möglichst effizient zu unterstützen, wäre es sinnvoll, die Unterstützung technologie- und branchenübergreifend auf die Ermöglichung von CCS, also den Infrastrukturausbau und Innovationsförderung, auszurichten. Neben den technologischen Entwicklungspotenzialen und der heutigen Verfügbarkeit technischer Vermeidungsalternativen wäre es hier auch sinnvoll, Leakage-Gefahren und wirtschaftliche Strukturfragen mit einzubeziehen, gerade mit Blick auf den innereuropäischen Wettbewerb.

Statt als regulatorischer Ansatz sollte der Begriff der schwer vermeidbaren Emissionen in erster Linie beschreibend verstanden werden: CCS kann und sollte aus gesamtwirtschaftlicher Sicht einen zwar notwendigen, aber quantitativ nur einen begrenzten Beitrag zum Klimaschutz leisten. Dafür sprechen die begrenzte Skalierungsgeschwindigkeit, die Kosten der Technologie, Restrisiken der Wiederfreisetzung des gespeicherten CO₂ und ökologische Restrisiken von CCS, aber auch der Vorsorgegedanke, sich mehr

Spielräume für zukünftig gegebenenfalls notwendige, noch sehr viel umfangreichere Negativemissionen zu erhalten als heutige Klimaszenarien ausweisen (Schleussner et al., 2024).²⁰ In der konkreten klimapolitischen Umsetzung sollte all dem dadurch Rechnung getragen werden, dass auch nach Zulassen von CCS (und anderen Bausteinen des Kohlenstoffmanagements) konventionelle Maßnahmen des Klimaschutzes, die Emissionen bereits im Ansatz zu vermeiden, konsequent verfolgt werden. Der schnelle Abbau weiter bestehender Hemmnisse, etwa bei Ausbau erneuerbarer Energien oder der Sektorkopplung, trägt in jedem Fall dazu bei, dass weniger auf CCS zurückgegriffen wird.²¹ Darüber hinaus gilt es darauf zu achten, dass auch bei Förderung von CCS-Anwendungen auch in diesen Bereichen Anreize zur Entwicklung von technologischen Alternativen oder zur Änderung von Lebensgewohnheiten erhalten bleiben.²²

Auch für die gesellschaftliche Akzeptanz für CCS (und die weiteren Ansätze des Kohlenstoffmanagements) hilft ein häufiger und nicht weiter spezifizierter Verweis auf schwer vermeidbare Emissionen nur sehr beschränkt und letztlich nur, um die Rolle von CCS in der Klimapolitik knapp zu beschreiben. Wesentlicher scheinen uns Transparenz und Klarheit zu sein, sowohl für den Umgang mit dem Begriff der schwer vermeidbaren Emissionen – die Eckpunkte zur CMS würden deutlich gewinnen, wenn sie von vorneherein klarstellen würden, dass es nicht das Ziel ist, schwer vermeidbare Emissionen im Detail zu definieren und abzugrenzen – als auch für die Erläuterung einzelner Entscheidungen – eine Voraussetzung, die im Fall der Gaskraftwerke mit CCS derzeit nicht erfüllt ist und die der pauschale Verweis auf schwer vermeidbare Emissionen nicht leisten kann. Auch in dieser kontroversen Diskussion um CCS gilt es zudem zu berücksichtigen, dass sich Akzeptanz für Technologien über die Zeit weiterentwickelt hat und sie nicht zuletzt auch von den Kosten verfügbarer Alternativen abhängt.

20 Dass CCS nur begrenzte Beiträge zum Erreichen der Klimaschutzziele leisten können, zeigen eine Vielzahl von Klimaschutzenszenarien für Deutschland, Europa oder auch international: Der überwiegende Teil der Klimaschutzbeiträge in diesen Szenarien entfällt auf Maßnahmen, die die Nutzung fossiler Ressourcen und generell die Entstehung von CO₂ (THG) bereits im Ansatz vermeiden. Der Rest, der in diesem Sinn als schwer vermeidbar bezeichnet werden kann, auf die Einspeicherung und Nutzung von CO₂ (CCS und CCU) sowie die Entnahme aus der Atmosphäre (CDR).

21 Dies gilt für Deutschland etwa auch, wenn die Förderung von CCS-Anwendungen mittelfristig zurückgefahren wird, was aus Haushaltsgründen und bei Wegfall „innovationsökonomischer Fördergründe“ sinnvoll ist.

22 Beides ist etwa herausfordernd, würden einzelne CCS-Anwendungen definiert und die dort entstehenden Emissionen fortan regulatorisch „geschützt“.

Fazit

Eine wissenschaftlich fundierte Abgrenzung „schwer und nicht vermeidbarer Emissionen“ erscheint nicht möglich. Staatliche Förderung, die sich an einem solchen ad hoc Kriterium ausrichtet, läuft Gefahr, verzerrend zu wirken. Solange die Diskussion um schwer und nicht vermeidbarer Emissionen andauert, hat sie zudem das Potenzial, den notwendigen Einstieg in CCS und damit das Erreichen von Klimaneutralität zu verzögern. Bevor Entscheidungen gefallen sind, was und wie gefördert wird, wird der Investitionsstau bei Unternehmen bestehen bleiben und der notwendige Ausbau von Transportinfrastruktur verlangsamt. Die Abgrenzung schwer und nicht vermeidbarer Emissionen sollte entsprechend mehr als Einordnung der Rolle von CCS gesehen werden, das absehbar zwar notwendige, aber mengenmäßig nur begrenzte Beiträge zum Klimaschutz leisten können. Die Schaffung rechtlicher Voraussetzungen und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen für den Einstieg in diese Technologien sollten deshalb auf politischer Ebene nicht dazu führen, dass in jedem Fall sinnvolle klimapolitische Initiativen aufgegeben/vernachlässigt werden. Gelingt der Ausbau erneuerbarer Energien, begrenzt dies zukünftig auch den Einsatz von CCS.

Literatur

- Bacilieri, A., Black, R. & Way, R. (2023). Assessing the relative costs of high-CCS and low-CCS pathways to 1.5 degrees. *Working Paper*, 23-08. Oxford Smith Scholl of Enterprise and the Environment.
- BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (2024a). Eckpunkte der Bundesregierung für eine Carbon Management-Strategie. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/240226-eckpunkte-cms.pdf>
- BMWK. (2024b, Februar). *Langfriststrategie Negativemissionen zum Umgang mit unvermeidbaren Restemissionen (LNe) – Eckpunkte*. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/240226-eckpunkte-negativemissionen.pdf>
- BMWK. (2024c, 26. Februar). Referentenentwurf des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, Entwurf eines Ersten Gesetzes zur Änderung des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetz/20240226-referentenentwurf-cms>
- Danish Energy Agency. (2024). *CCS tenders and other funding for CCS development*. <https://ens.dk/en/our-responsibilities/ccs-carbon-capture-and-storage/ccs-tenders-and-other-funding-ccs-development>
- Denk, A. (2024, 2. April). Sicher ist sicher, oder? *IPG-Journal*. <https://www.ipg-journal.de/rubriken/wirtschaft-und-oekologie/artikel/sicher-ist-sicher-oder-7424/>
- Deutscher Bundestag. (2022). *Evaluierungsbericht der Bundesregierung zum Kohlendioxid-Speicherungsgesetz*. Drucksache 20/5145. <https://dserver.bundestag.de/btd/20/051/2005145.pdf>
- Dütschke, E., Wohlfarth, K., Höller, S., Viebahn, P., Schumann, D. & Pietzner, K. (2016). Differences in the public perception of CCS in Germany depending on CO2 source, transport option and storage location. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 53(3), 149–159.
- EC – European Commission. (2024a). Towards an ambitious Industrial Carbon Management for the EU, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM(2024) 62 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2024%3A62%3AFIN>
- EC – European Commission. (2024b). Impact assessment report – securing our future: Europe’s 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society. *Commission Staff Working Document*, SWD(2024) 63 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52024SC0063>
- EEB – European Environmental Bureau. (2024). *CCS Reality Check – The case for a targeted use of CCS*. <https://eeb.org/wp-content/uploads/2024/01/CCS-reality-check-The-case-for-a-targeted-use-of-CCS-EEB.pdf>
- EPA – U.S. Environmental Protection Agency. (2024). *Fact Sheet: Carbon Pollution Standards for Fossil-Fired Power Plants – Final Rule*. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-04/cps-111-fact-sheet-overview.pdf>
- ESABCC – European Scientific Advisory Board on Climate Change. (2024). *Towards EU climate neutrality. Progress, policy gaps and opportunities*. Assessment Report. <https://doi.org/10.2800/216446>
- EU. (2009). Richtlinie 2009/31/EG des europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. April 2009 über die geologische Speicherung von Kohlendioxid. <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/31/oj>
- Global CCS Institute. (2023a). *CCS in Europe – Regional Overview*. <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2023/11/CCS-in-Europe-Regional-Overview-Global-CCS-Institute-pdf.pdf>
- Global CCS Institute. (2023b). *Global Status of CCS 2023 – Scaling Up Through 2030*. <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2024/01/Global-Status-of-CCS-Report-1.pdf>
- GFZ – Deutsches GeoForschungszentrum. (2024). *Pilotstandort Ketzin*. <https://www.co2ketzin.de/startseite/>
- Herfort, A., Stevanovic, M. & Strefler, J. (2023). *Energiewende auf Netto-Null: Passen Angebot und Nachfrage nach CO2-Entnahme aus der Atmosphäre zusammen? Kopernikus-Projekt Ariadne*, Potsdam.
- Holz, F., Scherwath, T., Crespo del Granado, P., Skar, C., Olmos, L., Ploussard, Q., Ramos, A. & Herbst, A. (2021). A 2050 perspective on the role of carbon capture and storage in the European power system and industry sector. *Energy Economics*, 104, 105631.
- IEA – International Energy Agency. (2020). *Energy Technology 2020 Perspectives – Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage*. https://iea.blob.core.windows.net/assets/181b48b4-323f-454d-96fb-0bb1889d96a9/CCUS_in_clean_energy_transitions.pdf
- IEA – International Energy Agency. (2023a). *CCUS – Net Zero Emissions Guide*. <https://www.iea.org/reports/CCUS#dashboard>
- IEA – International Energy Agency. (2023b). *Net Zero Roadmap – A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach (2023 Update)*. https://iea.blob.core.windows.net/assets/9a698da4-4002-4e53-8ef3-631d8971bf84/NetZeroRoadmap_AGlobalPathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf
- IEA – International Energy Agency. (2024). *CO2 Transport and Storage*. <https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage/co2-transport-and-storage#tracking>
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate Change 2022-Mitigation of Climate Change, Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report, of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Summary for Policymakers. In *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*, 1–34. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Itul, A., Diaz Rincon, A., Eulaerts, O. D., Georgakaki, A., Grabowska, M., Kapetaki, Z., Ince, E., Letout, S., Kuokkanen, A., Mountraki, A., Shtjefni, D. & Jaxa-Rozen, M. (2023). *Clean Energy Technology Observatory: Carbon capture utilisation and storage in the European Union – 2023 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*. <https://doi.org/10.2760/882666>

- KSpG – Kohlendioxid-Speicherungsgesetz. (2012). Gesetz zur Demonstration der dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid. <https://www.gesetze-im-internet.de/kspg/KSpG.pdf>
- LBEg – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. (2024). *CO₂-Speicherung*. https://www.lbeg.niedersachsen.de/energie_rohstoffe/co2speicherung/co2-speicherung-935.html
- Loria, P. & Bright, M. B. H. (2021). Lessons captured from 50 years of CCS projects. *The Electricity Journal*, 34(7), 106998.
- Luderer, G., Kost, C. & Sörgel, D. (Hrsg.) (2021). *Ariadne-Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 – Szenarien und Pfade im Modellvergleich*. Kopernikus-Projekt Ariadne. <https://doi.org/10.48485/pik.2021.006>
- Mahjour, S. K. & Faroughi, S. A. (2023). Risks and uncertainties in carbon capture, transport, and storage projects: A comprehensive review. *Gas Science and Engineering*, 119 (Part A, 205117). <https://doi.org/10.1016/j.jgsce.2023.205117>
- Pfeiffer, J. & Pittel, K. (2021). Negative Emissions in Climate Policy – Scenarios, Governance and Challenges. In A. Markandy & D. T. G. Rübelke, *Climate and Development* (Kapitel 12). World Scientific.
- Pfeiffer, J., Erlach, B., Fishedick, M., Fuss, S., Geden, O., Löscher, A., Pittel, K., Ragwitz, M., Stephanos, C. & Weidlich, A. (2024). Kohlenstoffmanagement integriert denken: Anforderungen an eine Gesamtstrategie aus CCS, CCU und CDR. *Schriftenreihe „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS)*. https://doi.org/10.48669/esys_2024-5
- Schnuit, F., Böttcher, M. & Geden, O. (2023). Carbon Management: Chancen und Risiken für ambitionierte Klimapolitik. *SWP Aktuell*, 30.
- Schnuit, F. & Geden, O. (2024). Die nächste Phase der europäischen Klimapolitik: das 2040-Ziel als Auftakt. *SWP-Aktuell*, 17.
- Schleussner, C.-F., Ganit, G., Lejeune, Q., Zhu, B., Pfeleiderer, P., Grütz, R., Ciaia, P., Frölicher, T. L., Fuss, S., Gasser, T., Gidden, M. J., Kropf, C. M., Lacroix, F., Lamboll, R., Martyr-Koller, R., Maussion, F., McCaughey, J. W., Meinshausen, M., Mengel, M., Nicholls, Z., Quilcaille, Q., Sanderson, B., Seneviratne, S., Sillmann, J., Smith, C. J., Steinert, N. J., Theokritoff, E., Warren, R., Price, J. & Rogelj, J. (2023). Overconfidence in climate overshoot. ESS Open Archive. DOI: 10.22541/essoar.170158343.39134302/v1
- Shu, D. Y., Deutz, S., Winter, B. A., Baumgärtner, N., Leenders, L. & Bardow, A. (2023). The role of carbon capture and storage to achieve net-zero energy systems: Trade-offs between economics and the environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 178, 113246.
- Steininger, K. W., Riahi, K., Stagl, S., Kromp-Kolb, H. & Kirchengast, G. (2024). *Nationaler Energie- und Klimaplan (NEKP) für Österreich – Wissenschaftliche Bewertung der in der Konsultation 2023 vorgeschlagenen Maßnahmen*. Climate Change Centre Austria. https://ccca.ac.at/fileadmin/00_DokumenteHauptmenue/02_Klimawissen/RefNEKP/Bericht/NEKP_Wissenschaftliche_Bewertung_der_Massnahmen_der_Stellungnahmen_Februar2024.pdf
- UBA – Umweltbundesamt. (2023). *Carbon Capture and Storage Diskussionsbeitrag zur Integration in die nationalen Klimaschutzstrategien*. Position September 2023. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/230919_uba_pos_ccs_bf.pdf
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen. (2021). *Über Klimaneutralität hinaus denken*.
- Witte, K., Große-Kreul, F., Reichmann, A., Weber, N. & Altstadt, L. (2023). Akzeptanz von industriellem CCS in Nordrhein-Westfalen – Empfehlungen für Politik und Industrie. *Wuppertaler Impulse zur Nachhaltigkeit*, 11/2023. https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/8496/file/8496_CCS.pdf
- Xinhua. (2023). *Chinese energy giant strives for carbon neutrality, launching mega carbon capture project*. <https://english.news.cn/20230603/ee847bb037b142a182152f1a0485348c/c.html>
- ZEP – Zero Emission Platform. (2011). *The costs of CO₂ storage: post-demonstration CCS in the EU*. European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants.

Title: Carbon Capture and Storage and the Debate on “Difficult or Unavoidable Emissions”

Abstract: There is now a consensus that carbon capture and storage (CCS) should play a role in achieving climate neutrality. Against the background of national and international developments, the question arises as to which emissions should (or may) be reduced via CCS at all. What is meant by “difficult and unavoidable emissions” in the context of CCS and whether such a focus makes sense also needs to be clarified.