

# **Analyse von CCU-Technologien im Kontext konventioneller Energieeffizienz- und Klimaschutzmaßnahmen in Österreich**

CCU in Austria

F. Zach, K. Kulterer, G. Simader

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**34/2022**

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe  
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

### **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:  
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:  
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

# Analyse von CCU-Technologien im Kontext konventioneller Energieeffizienz- und Klimaschutzmaßnahmen in Österreich

CCU in Austria

Franz Zach, Konstantin Kulterer, Günter Simader  
Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency

Wien, April 2022

Ein Projektbericht im Rahmen des FTI-Schwerpunkts „Energiewende“  
der Sektion 3 - „Innovation und Technologie“  
des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)



## **Vorbemerkung**

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem FTI-Schwerpunkt „Energiewende“ der Sektion 3 - „Innovation und Technologie“ des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) in Kooperation mit der österreichischen Energieagentur AEA - Austrian Energy Agency bezugnehmend auf Carbon Capture and Utilisation (CCU) und Carbon Capture and Storage (CCS)-Technologien. Der Bericht diskutiert international entwickelte Konzepte und Lösungen die das Potenzial besitzen die Transformation - zu einer nachhaltigen Energieversorgung - voranzutreiben. Für einen effektiven Klimaschutz müssen primär fossile Treibhausgasemissionen gemindert werden, aber Carbon Capture and Utilisation (CCU) kann durchaus auf mehreren Ebenen einen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Branchen, in denen CO<sub>2</sub>-neutrale Technologien besonders schwer und komplex zu implementieren sind, öffnet CCU alternative Möglichkeiten. Es bietet diesen Unternehmen nicht nur die Chance die Treibhausgasemissionen zu reduzieren, sondern kann auch den gewonnenen Kohlenstoff einer sinnvollen weiteren Verwertung zuführen. Unabhängig vom dauerhaften Kohlenstoffbedarf gilt es, Innovationen und Entwicklungen mit dem Ziel zu fördern, die nach heutigem Kenntnisstand nicht vermeidbaren Treibhausgasemissionen dennoch weiter zu verringern.

CCU kann daher die Dekarbonisierung mittelfristig beschleunigen, für die Abschätzung der langfristigen Perspektive von Carbon Capture and Storage bedarf es allerdings weiterer Forschung.

Um die Wirkung der geförderten Projekte zu erhöhen sollen die (innovativen) Ergebnisse leicht sichtbar und zugänglich gemacht werden. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse in der Schriftenreihe des BMK publiziert und elektronisch über die Plattform [www.NachhaltigWirtschaften.at](http://www.NachhaltigWirtschaften.at) zur Verfügung gestellt.

Abteilung III/3 – Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Analyse der internationalen und europäischen Zusammenarbeit</b>	<b>8</b>
2.1	Internationale Zusammenarbeit	8
2.2	ISO-Normen	9
2.3	Europäische Zusammenarbeit	10
2.3.1	Europäischer Rechtsrahmen	10
2.3.2	Europäische Forschungs- und Förderprogramme	11
<b>3</b>	<b>Analyse des Stands der Technik</b>	<b>13</b>
3.1	Allgemein	13
3.2	CO <sub>2</sub> -Aufkonzentration und Abscheidung	15
3.2.1	Post-Combustion-Verfahren	15
3.2.2	Oxyfuel-Verfahren	15
3.2.3	Pre-Combustion-Verfahren	16
3.2.4	CO <sub>2</sub> -Abscheidungstechnologien aus den Abgasströmen	17
3.3	Erfolgsfaktoren	19
3.3.1	Kosten	20
3.4	CO <sub>2</sub> -Transport	21
3.4.1	Transportoptionen	22
3.4.2	Kosten des CO <sub>2</sub> -Transports	24
3.5	CO <sub>2</sub> -Nutzung	26
3.6	Anlagen in der EU	27
<b>4</b>	<b>Mögliche Umweltauswirkungen (Gesundheitsrisiken)</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>Identifizierung österreichischer Sektoren und Unternehmen</b>	<b>33</b>
5.1	CO <sub>2</sub> -Quellen und Sektoren	33
5.2	Bisher identifizierte Österreichische Unternehmen und Institutionen	36
5.3	Stakeholder Workshop	37
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Empfehlungen</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>51</b>
<b>8</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>55</b>
<b>9</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>57</b>



# 1 Einleitung

Carbon Capture and Utilization (zu Deutsch: CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Verwendung beziehungsweise Nutzung, abgekürzt CCU): bezeichnet die Abscheidung von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), insbesondere aus industriellen Abgasströmen beziehungsweise Abgasströmen aus mit Öl, Kohle oder Erdgas betriebenen Kraftwerken und dessen angeschlossene Verwendung in weiteren chemischen Prozessen.

Der Begriff ist eng mit Carbon Capture and Storage (CCS, zu Deutsch: CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung) verknüpft, bei dem das abgeschiedene CO<sub>2</sub> gespeichert wird. Im Gegensatz zu CCS ist bei CCU die Bereitstellung von chemischen Rohstoffen das primäre Ziel.

In Kombination von CCU mit der langfristigen Speicherung unter Tage spricht man von CCUS (Carbon Capture, Storage and Utilisation; zu Deutsch: CO<sub>2</sub>-Abscheidung, Verwendung beziehungsweise Nutzung und Speicherung).

Generell ist festzustellen, dass Kohlenstoff ein Rohstoff für zahlreiche technische Anwendungen ist. Als Rohstoff stammt das CO<sub>2</sub> zum überwiegenden Teil aus fossilen Quellen wie Öl, Kohle oder Erdgas. Zukünftig könnte ein Teil des Rohstoffbedarfs durch CCU mit CO<sub>2</sub>, welches bei Industrieanlagen oder Kraftwerken abgeschieden wird, gedeckt werden. Hauptfokus von CCU-Technologien ist der Ersatz von Öl, Kohle und Erdgas für die Deckung des Kohlenstoffbedarfs in der Industrie. CCU-Technologien sollten dabei allerdings im Sinne der Nachhaltigkeit mit einer Verminderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen einhergehen.

Neben der direkten, physikalischen Nutzung kann CO<sub>2</sub> auch unter Zufuhr von Energie in chemischen oder biologischen Prozessen in andere Stoffe umgewandelt werden. Derzeit werden weitere Anwendungsfelder zur Nutzung von CO<sub>2</sub> erforscht, um es in stofflich verwertbare Produkte umzuwandeln, beispielsweise Polyurethan oder in Grundchemikalien– wie Methanol oder Formaldehyd – für etablierte Verfahrensrouten der chemischen Industrie.

Ferner kann das abgeschiedene CO<sub>2</sub> chemisch in Energieträger (Flüssigkraftstoffe und Methan) umgewandelt werden. So kann aus klimafreundlichen Energiequellen produzierter Wasserstoff beispielsweise in Methan umgewandelt werden, das mit vorhandener Infrastruktur für Erdgastransport und -speicher handhabbar ist und keine Änderungen an Brennern oder Motoren erfordern würde (wie es zum Beispiel beim Einsatz von Wasserstoff der Fall ist). Ähnliches gilt für die Herstellung von synthetischen flüssigen Energieträgern.

Bei der Nutzung von Produkten oder Energieträgern auf CO<sub>2</sub>-Basis wird CO<sub>2</sub> oft nach kurzer Verweilzeit in den Produkten wieder freigesetzt, z. B. bei der Verbrennung in Motoren, Feuerungsanlagen oder bei der Müllverbrennung.

Der Beitrag zum Klimaschutz ist eingeschränkt und bedingt sich hauptsächlich aus der Vermeidung der Nutzung von Öl, Kohle und Erdgas. Ausnahmen bilden langfristig stabile Minerale, die bei der Umwandlung natürlicher Mineralien oder industrieller Abfallstoffe gebildet werden können. Wenn das bei der Nutzung freigesetzte CO<sub>2</sub> erneut abgeschieden und verwertet werden könnte, wäre eine technische Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft denkbar. Da für die Umwandlung von CO<sub>2</sub> zusätzlich zur Abscheidung Energie benötigt wird, sind diese CCU-Optionen energetisch dann sinnvoll, wenn ausreichend Strom aus erneuerbaren Energien zur Verfügung steht, um CO<sub>2</sub> in anderweitige Produkte überzuführen.

Eine Übersicht über mögliche CO<sub>2</sub>-Quellen und Nutzungsmöglichkeiten beziehungsweise Nutzungspfade zeigt die nachfolgende Abbildung.

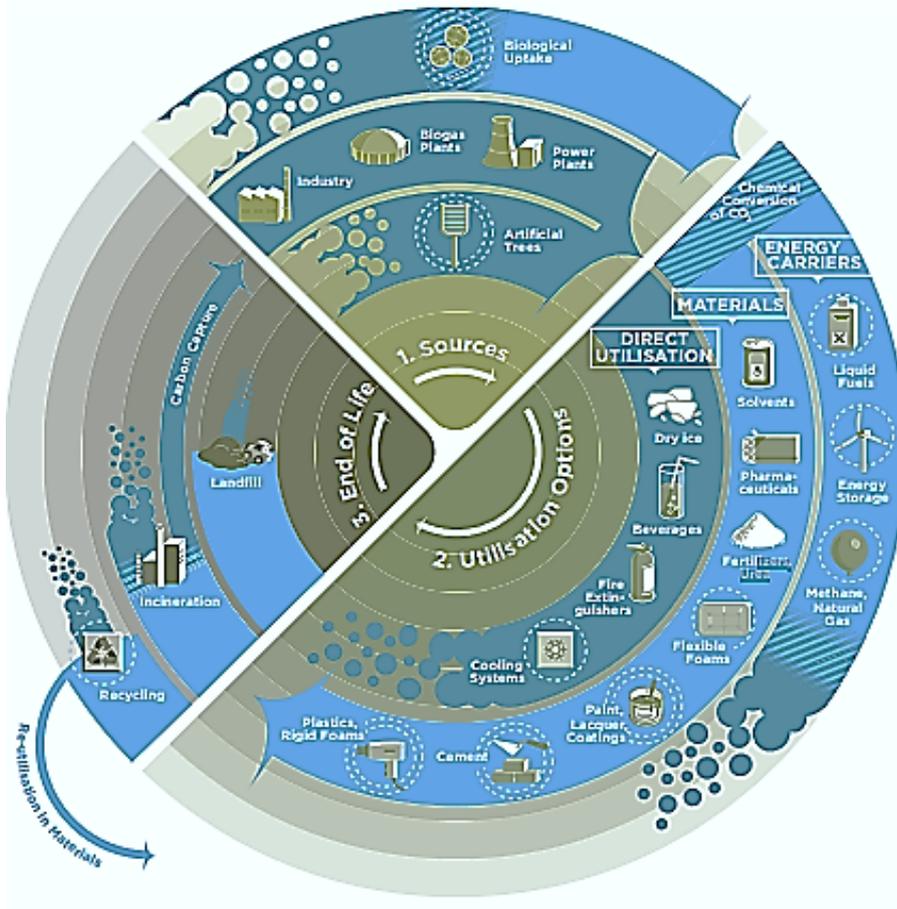


Abbildung 1 Potentielle CO<sub>2</sub>-Abscheidequellen und Nutzungspfade

Quelle: Barbara Olfe-Kräutlein, IASS fact sheet 2/2014, Potsdam, Juli 2014

In der Europäischen Union wurde im Jahr 2009 die CCS Richtlinie erlassen (Europäische Union, 2009). Neben den Regelungen für den Betrieb, die Schließung und den Nachsorgeverpflichtungen finden sich auch die erforderlichen Bestimmungen für die Überwachung der Speicherstätten. In Österreich wurde diese Richtlinie im Jahr 2011 mittels des Bundesgesetzes über das Verbot der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid umgesetzt.<sup>1</sup> Ausnahmen für das Verbot sind Forschungszwecke oder die Entwicklung beziehungsweise Erprobung neuer Produkte oder Verfahren mit einem gesamten geplanten Speichervolumen von weniger als 100.000 Tonnen. Das Gesetz wird beginnend mit dem Jahr 2018 alle fünf Jahre unter besonderer Berücksichtigung der international gewonnenen Erfahrungen evaluiert. Der nächste Bericht steht im Jahr 2023 an.

<sup>1</sup> Bundesgesetz, mit dem ein Gesetz über das Verbot der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid erlassen wird und das Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz 2000, das Bundes-Umwelthaftungsgesetz, die Gewerbeordnung 1994 sowie das Mineralrohstoffgesetz geändert werden (StF: BGBl. I Nr. 144/2011)

Neue Dynamik – insbesondere aufgrund des Themas CO<sub>2</sub>-Verwendung – ist in die europäische Diskussion im Rahmen der Diskussionen um den "Green Deal" gekommen.<sup>2</sup> Folgende Initiativen forcieren nunmehr CO<sub>2</sub> als Wertstoff beziehungsweise regen Kreislaufführungen von CO<sub>2</sub> an:

- Verordnung (EU) 2021/1119 zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität
- Mitteilung COM (2021) 800: Nachhaltige Kohlenstoffkreisläufe
- Novelle der europäischen Erneuerbaren Energien-Richtlinie

Mit diesen Initiativen beziehungsweise Gesetzesspaketen ist das CCU Thema in das Zentrum der Energie- und Umweltpolitiken gerückt. In den Szenarien der Treibhausgasemissionen wird den CCUS Technologien nunmehr eine signifikante Rolle eingeräumt (siehe auch nachfolgendes Kapitel).

Ausgangspunkt für die durchgeführten Analysen ist die österreichische Teilnahme am IEA Greenhouse Gas R&D Programme (IEAGHG). Das IEAGHG hat bisher zahlreiche Berichte zu verschiedenen Aspekten der CCUS-Technologie veröffentlicht. Die Beschäftigung der IEA beschränkt sich nicht nur auf die Anwendung von CCS und CCU im Energiesektor, sondern fokussiert zunehmend auch auf die Bedeutung der Technologie für CO<sub>2</sub>-intensive Industrieprozesse. Ein besonderes Augenmerk legt die IEA auf die Untersuchung des für CCS und CCU notwendigen Rechtsrahmens (IEA CCUS Legal and Regulatory Network). Das Greenhouse Gas R&D Programme koordiniert weitere technische Netzwerke, gibt regelmäßig einen ausführlichen Newsletter zu CCS-Aktivitäten aus aller Welt heraus, und trägt mit Fachkonferenzen und einer jährlich stattfindenden „Summerschool“ zur Ausbildung qualifizierter Expert:innen für die Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub> bei. Die zahlreichen Analysen des IEAGHG stellen die Basis für dieses Projekt dar. Weiters werden besonders relevante Untersuchungen auf der Website Nachhaltig Wirtschaften zur Verfügung gestellt ([nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/treibhausgas/](https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/treibhausgas/)).

Im Rahmen des Projekts wurden folgende Analysen durchgeführt. In Kapitel 2 wird die internationale und europäische Zusammenarbeit vorgestellt. Darauf aufbauend wird in Kapitel 3 der Stand der Technik von CCU-Verfahren analysiert. In Kapitel 4 wird auf Umweltauswirkungen von CCUS eingegangen und inwieweit diese bereits in den Umweltverträglichkeitsprüfungen berücksichtigt werden. In Kapitel 5 werden österreichische Unternehmen und Interessenslagen identifiziert. In diesem Kapitel werden auch die Ergebnisse des Stakeholder-Treffens vom 2. März 2022 zusammengefasst. In Kapitel 6 wird der Bericht zusammengefasst und Empfehlungen für weitere F&E-Aktivitäten in Österreich erarbeitet.

---

<sup>2</sup> COM (2018) 773: Ein sauberer Planet für alle - eine Europäische strategische, langfristige Vision für eine wohlhabende, moderne, wettbewerbsfähige und klimaneutrale Wirtschaft.

## 2 Analyse der internationalen und europäischen Zusammenarbeit

Die weitere Entwicklung der CCS-Technologie und insbesondere der CO<sub>2</sub>-Speicherung ist auf den europäischen und internationalen Austausch von wissenschaftlichen Erkenntnissen und praktischen Erfahrungen angewiesen.

### 2.1 Internationale Zusammenarbeit

Das **Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF)** ([csforum.org/cslf/](http://csforum.org/cslf/)) ist eine Klimainitiative auf Ministerebene zur weiteren Entwicklung von CCUS. Das CSLF wurde 2003 auf Initiative der USA gegründet und hat derzeit 25 Mitgliedstaaten, unter anderem alle G7-Staaten sowie die Schwellenländer Indien, China, Südafrika, Brasilien und Mexiko. Die Europäische Kommission ist ebenfalls beteiligt, damit besteht auch eine indirekte Teilnahme von Österreich.

Auch die **Internationale Energieagentur (IEA)** beschäftigt sich intensiv mit dem Thema CCUS. Einerseits wurde eine eigene CCUS Unit in den letzten Jahren eingerichtet, andererseits arbeitet insbesondere das **Greenhouse Gas R&D Programme (IEAGHG)** an diesem Themenbereich. Das IEAGHG hat bisher zahlreiche Berichte zu verschiedenen Aspekten der CCUS-Technologie veröffentlicht. Die Beschäftigung der IEA beschränkt sich nicht nur auf die Anwendung von CCS und CCU im Energiesektor, sondern fokussiert sich zunehmend auch auf die Bedeutung der Technologie für CO<sub>2</sub>-intensive Industrieprozesse. Ein besonderes Augenmerk legt die IEA auf die Untersuchung des für CCS und CCU notwendigen Rechtsrahmens (IEA CCUS Legal and Regulatory Network). Das Greenhouse Gas R&D Programme koordiniert weitere technische Netzwerke, gibt regelmäßig einen ausführlichen Newsletter zu CCS-Aktivitäten aus aller Welt heraus und trägt mit Fachkonferenzen und einer jährlich stattfindenden „Summerschool“ zur Ausbildung qualifizierter Expert:innen für die Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub> bei. Österreich ist beim IEA GHG beteiligt, die wichtigsten Berichte werden auf der Website Nachhaltig Wirtschaften zur Verfügung gestellt ([nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/treibhausgas/](http://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/treibhausgas/)).

Das **Global Carbon Capture and Storage Institute (GCCSI)** wurde 2008 auf Initiative und mit finanzieller Unterstützung Australiens gegründet. Neben dem Institut in Australien verfügt das GCCSI mittlerweile auch über Standorte in Asien, USA und Europa. Hauptwerke des GCCSI sind unter anderem der jährliche Bericht zum weltweiten Status von CCS und CCU (The Global Status of CCS) und deren Projektdatenbank.

Um die Speicherung von Kohlendioxid unterhalb des Meeresbodens zu ermöglichen, wurden sowohl das OSPAR-Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks als auch das Londoner Protokoll zum Übereinkommen über die Verhütung der Meeresverschmutzung durch das Einbringen von Abfällen und anderen Stoffen angepasst. Nachdem Österreich keinen Meereszugang hat, sind beide Übereinkommen nur bedingt von Interesse.

Unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) mit ihren Instrumenten „Kyoto-Protokoll“ und „Übereinkommen von Paris“ findet das Thema CCS seit langer Zeit Beachtung als Emissionsminderungstechnik, die den Vertragsstaaten nach eigenem Ermessen zur Verfügung steht. Durch die

Verabschiedung von entsprechenden Richtlinien besteht seit 2011 auch die Möglichkeit, im Rahmen des „Clean Development Mechanism“ (CDM) unter dem Kyoto-Protokoll eine durch den Einsatz von CCS in Entwicklungsländern nachgewiesene projektbasierte Emissionsminderung in Form von Gutschriften zu vergüten. Konkrete Projekte wurden im Rahmen des CDM bisher nicht umgesetzt.

## 2.2 ISO-Normen

Über die internationale politische und geotechnische Zusammenarbeit hinaus ist auch die Zusammenarbeit bei der Erstellung von Regelwerken erforderlich, damit weltweit möglichst einheitliche Bedingungen für CCS geschaffen werden und die nationalen beziehungsweise europäischen Sicherheitsvorstellungen Eingang in die ISO-Regelwerke finden. Das Technische Komitee 265 der Internationalen Standardorganisation (ISO) erstellt mit sechs thematischen Arbeitsgruppen technische Berichte, Spezifikationen und Normen zur Abscheidung, zum Transport und zur Speicherung von CO<sub>2</sub> (<https://www.iso.org/committee/648607.html>). Insgesamt sind derzeit 21 Länder vertreten (insbesondere die erdöl- und erdgasproduzierenden Länder). Österreich ist in diesem Komitee nicht vertreten. Bisher wurden zwölf Berichte und Normen veröffentlicht, fünf weitere sind in Arbeit (Tabelle 2).

Tabelle 1: Veröffentlichte und in Arbeit [i. A.] befindliche Normen (ISO), technisch Berichte (ISO/TR) zu CCUS

Norm	Content
ISO/TR 27912:2016	Carbon dioxide capture — Carbon dioxide capture systems, technologies and processes
ISO 27913:2016	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Pipeline transportation systems
ISO 27914:2017	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Geological storage
ISO/TR 27915:2017	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Quantification and verification
ISO 27916:2019	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Carbon dioxide storage using enhanced oil recovery (CO <sub>2</sub> -EOR)
ISO 27917:2017	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Vocabulary — Cross cutting terms
ISO/TR 27918:2018	Lifecycle risk management for integrated CCS projects
ISO 27919-1:2018	Carbon dioxide capture — Part 1: Performance evaluation methods for post-combustion CO <sub>2</sub> capture integrated with a power plant
ISO 27919-2:2021	Carbon dioxide capture — Part 2: Evaluation procedure to assure and maintain stable performance of post-combustion CO <sub>2</sub> capture plant integrated with a power plant
ISO/TR 27921:2020	Carbon dioxide capture, transportation, and geological storage — Cross Cutting Issues — CO <sub>2</sub> stream composition

Norm	Content
ISO/TR 27922:2021	Carbon dioxide capture — Overview of carbon dioxide capture technologies in the cement industry
ISO/TR 27923:2022	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Injection operations, infrastructure and monitoring
ISO/i.A. 27913	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Pipeline transportation systems
ISO/i.A. TS 27924	Risk management for integrated CCS projects
ISO/i.A. TR 27925	Flow Assurance
ISO/i.A. TR 27926	Carbon dioxide enhanced oil recovery (CO <sub>2</sub> -EOR) - Transitioning from EOR to storage
ISO/i.A. TR 27929	Transportation of CO <sub>2</sub> by ship

Im Rahmen des Workshops vom 2. März 2022 wurden von teilnehmenden Unternehmen kein Interesse an einer Teilnahme genannt. Bezüglich einer direkten Anwendung der entwickelten Normen auf nationaler Ebene ist anzumerken, dass vorab zu überprüfen ist, ob die nationalen und europäischen Bedingungen bezüglich Sicherheit und Umweltauflagen erfüllt werden.

## 2.3 Europäische Zusammenarbeit

### 2.3.1 Europäischer Rechtsrahmen

In der Europäischen Union wurde im Jahr 2009 die CCS Richtlinie erlassen (Europäische Union, 2009). Neben den Regelungen für den Betrieb, Schließung und den Nachsorgeverpflichtungen finden sich auch die erforderlichen Bestimmungen für die Überwachung der Speicherstätten. In Österreich wurde diese Richtlinie im Jahr 2011 mittels des Bundesgesetzes über das Verbot der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid umgesetzt. Ausnahmen für das Verbot sind Forschungszwecke oder die Entwicklung beziehungsweise Erprobung neuer Produkte oder Verfahren mit einem gesamten geplanten Speichervolumen von weniger als 100.000 Tonnen. Das Gesetz wird, beginnend mit dem Jahr 2018, alle fünf Jahre unter besonderer Berücksichtigung der international gewonnenen Erfahrungen evaluiert. Der nächste Bericht steht im Jahr 2023 an.

Im Zuge der Diskussionen um den Green Deal werden CCUS-Technologien verstärkt als Klimaschutzmaßnahme berücksichtigt. Folgende Initiativen/Verordnungen forcieren nunmehr CO<sub>2</sub> als Wertstoff beziehungsweise regen Kreislaufführungen von CO<sub>2</sub> an:

- Verordnung (EU) 2021/1119 zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität
- Mitteilung COM (2021) 800: Nachhaltige Kohlenstoffkreisläufe
- Novelle der europäischen Erneuerbaren Energien-Richtlinie

Mit diesen Initiativen beziehungsweise Gesetzesspaketen ist das CCU-Thema in das Zentrum der Energie- und Umweltpolitiken gerückt. In den Szenarien der Treibhausgasemissionen wird den CCUS-Technologien nunmehr eine signifikante Rolle eingeräumt (siehe nachfolgende Abbildung).

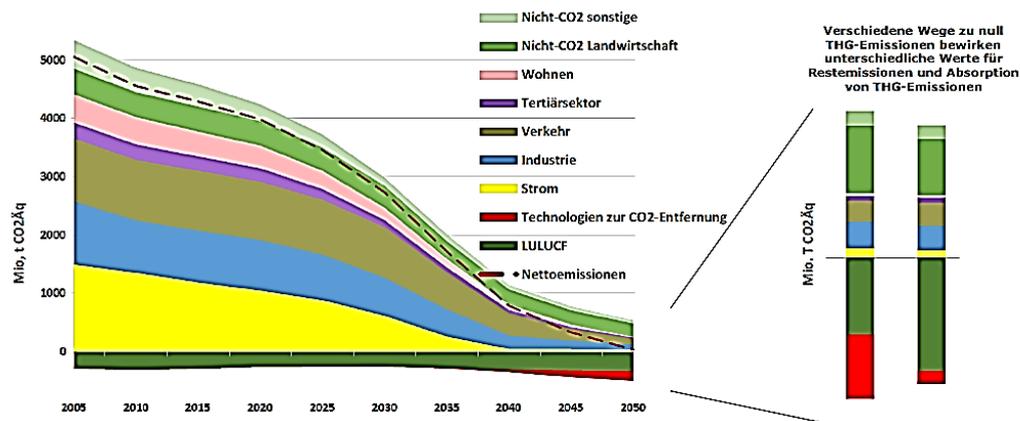


Abbildung 2: Verlaufskurve der THG-Emissionen bei einem Temperaturanstieg von 1,5 °C; die Balken (rechts) stellen die nach Szenarios 7 und 8 im Jahr 2050 emittierten und absorbierten Treibhaus-Gasmengen dar.

Quelle: (Europäische Kommission, 2019)

### 2.3.2 Europäische Forschungs- und Förderprogramme

Von Seiten der EU wurden eine Reihe von Forschungs- und Förderprogrammen etabliert, die auch für CCUS Projekte in Anspruch genommen werden können. Bezüglich Förderprogramme sind folgende Instrumente geschaffen worden:

Der **Innovation Fund** unterstützt - abhängig vom CO<sub>2</sub>-Preis mit mehr als 25 Milliarden Euro - besonders innovative CCUS-Technologien sowie erneuerbare Energien, energieintensive Industrien und Energiespeicherung.

Die **Connecting Europe Facility (CEF)** unterstützt grenzüberschreitende CO<sub>2</sub>-Transportnetze.

Die **Recovery and Resilience Facility (RRF)** zielt darauf ab, die wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen der Coronavirus-Pandemie durch Investitionen in Leuchtturmprojekte wie saubere Technologien und erneuerbare Energien (inklusive CCUS Technologien) abzumildern.

Der **Just Transition Fund (JTF)** bietet Unterstützung für Bereiche, die mit ernststen sozioökonomischen Herausforderungen konfrontiert sind, die sich aus dem Übergang zur Klimaneutralität ergeben, unter anderem Unterstützung für CCUS-Technologien.

**Horizon Europe** unterstützt Forschung, Pilot- und kleine Demonstrationsprojekte (inklusive CCUS Projekte).

Im Workshop vom 2. März 2022 wurden die Programme vorgestellt. Den Unternehmen sind die unterschiedlichen Programme bekannt. Es wurde allerdings geteilt, dass die Konkurrenz zwischen den Projektwerbern sehr hoch ist. Die Wahrscheinlichkeit eines Projektzuschlags wurde von einigen Unternehmen

als gering genannt. Parallel geführte nationale Aktivitäten könnten die Wettbewerbsfähigkeit deutlich erhöhen, da einerseits auf Referenzprojekte verwiesen werden könnte, andererseits auch das nationale Kommittee im CCUS-Bereich aufgezeigt wird.

In diesem Zusammenhang wird auch auf die sogenannten ERA-Nets (European Research Area Nets) verwiesen. Mit diesem Instrument können Mitgliedstaaten, assoziierte Staaten sowie Drittstaaten ihre Förderprogramme strategisch koordinieren und gemeinsame Ausschreibungen durchführen, die von der Europäischen Kommission anteilig unterstützt werden. Von 2016 bis 2021 wurde ein ERA NET zum Thema Accelerating CCS Technologies - ACT eingerichtet. Sollte zukünftig ähnliche Programme aufgesetzt werden, könnte Österreich unter Berücksichtigung eines entsprechenden Interesses von Seiten der Industrie beziehungsweise österreichischer Forschungsinstitutionen ebenfalls teilnehmen.

CCUS-Technologien werden auch im **Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan)** eine zentrale Rolle (priority action) eingeräumt. In diesem Zusammenhang ist insbesondere die im letzten Jahr publizierte CCUS-Roadmap to 2030 anzuführen. Die Roadmap zielt darauf ab, die erforderlichen Maßnahmen für weitere Entwicklungsschritte von CCUS zu identifizieren und konkrete Umsetzungsschritte vorzuschlagen. Weiters wird ein Überblick über den aktuellen Stand der Technologien gegeben und die Beiträge für die Erzielung der europäischen energie- und umweltpolitischen Ziele angeführt.

Weitere europäische Netzwerke:

European Technology Platform for **Zero Emission Fossil Fuel Power Plants (ZEP)**: Zusammenschluss von Vertretern aus Wissenschaft, Industrie und Umweltschutzorganisationen zur Förderung der CCS-Technologie

**European Energy Research Alliance (EERA)**: 2008 gegründete Allianz europäischer Forschungseinrichtungen und Universitäten zur europaweiten Koordinierung und Realisierung von Forschungsaktivitäten zu Energietechnologien gemäß „European Integrated Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan)“; unter anderem Programm zu CCS

**European Carbon Dioxide Capture and Storage Laboratory Infrastructure (CCSEL)**: Europäisches Forschungsinfrastrukturnetzwerk, seit 2016 als European Research Infrastructure Consortium (ERIC) etabliert

# 3 Analyse des Stands der Technik

## 3.1 Allgemein

Dieses Kapitel befasst sich vorrangig mit der technischen Darstellung der einzelnen Prozessschritte, die bei CCU (Carbon Capture and Usage) zum Einsatz kommen. Darüber hinaus wird auch auf die Unterschiede zwischen CCS (Carbon Capture and Storage) und CCU und auf Erfolgsfaktoren bei der Umsetzung solcher Anlagen eingegangen. Neben der technologischen Reife der Technologien (technology readiness level) werden auch die Kosten für den Einsatz von CCU analysiert. Am Ende des Kapitels erfolgt eine Kurzdarstellung bestehender CCU-Anlagen. Dieser Bericht fokussiert auf das Thema CCU, bindet jedoch auch CCS ein, soweit es für die Vollständigkeit und Verständlichkeit der Ausführungen notwendig ist.

CCU bezeichnet den Prozess der Abscheidung von CO<sub>2</sub> sowie dessen anschließende Weiterverwendung, entweder direkt als CO<sub>2</sub> oder nach chemischer Umwandlung. Diese Weiterverwendung ist der entscheidende Unterschied zu CCS. Als notwendige Zwischenschritte bei CCU sind die Reinigung, die Trocknung, die Lagerung, die Verdichtung beziehungsweise auch Verflüssigung und der Transport des CO<sub>2</sub> zu nennen.

Große CO<sub>2</sub>-Emittenten sind vor allem Industriebetriebe und Kraftwerke. Daher ist hier die Abscheidung von CO<sub>2</sub> besonders relevant. Im Gegensatz dazu sind Kleinverbraucher wie Haushalte nicht im Fokus dieser Technologie, da die Verfahren zur Abscheidung aufwändig sind und sich bei kleinen Mengen nicht rentieren.

Das abgeschiedene CO<sub>2</sub> liegt im Normalfall in der gasförmigen Phase vor. Dabei ist es im Prinzip unerheblich, ob das CO<sub>2</sub> aus Öl, Kohle, Erdgas stammt oder biogenen Ursprungs ist.

Bedeutung von CCU für die **globale Emissionsbilanz**:

Carbon Capture and Usage (CCU) und Carbon Capture and Storage (CCS) haben ein gemeinsames Ziel: die Vermeidung des Ausstoßes von CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre im Zuge eines bestimmten Prozesses.

CCU dient dabei dazu, CO<sub>2</sub>, das sich entweder bereits in der Erdatmosphäre befindet oder an diese abgegeben würde, abzuscheiden und einer bestimmten Verwendung zuzuführen. Damit wird der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre zunächst reduziert.

Zur gesamthaften Bewertung der Umwelteffekte muss immer der Alternativprozess betrachtet werden, das heißt, wie wäre die Situation, wenn ein bestimmter Prozess nicht auf Basis von abgeschiedenem CO<sub>2</sub> ablief. Dabei sind auch Aufwendungen für die Abscheidung des CO<sub>2</sub> sowie dessen anschließender Transport zum Nutzungsort miteinzubeziehen. Daher sind generelle Aussagen über die Klimawirksamkeit von CCU schwierig und aufgrund der notwendigen Betrachtung des Referenzprozesses komplexer als bei CCS.

Die technologischen Schritte bei CCU und CCS sind zum Teil ähnlich oder ident:

Bei **Carbon Capture and Storage** bestehen die drei Schritte im Wesentlichen in:

- Abscheidung des CO<sub>2</sub>
- Transport des CO<sub>2</sub>
- Einlagerung des CO<sub>2</sub> in den Untergrund an einer geologisch geeigneten Stelle

Bei **Carbon Capture and Usage** hingegen bestehen die drei Schritte im Wesentlichen in:

- Abscheidung des CO<sub>2</sub>
- Transport des CO<sub>2</sub>
- Nutzung des CO<sub>2</sub> für einen bestimmten Prozess (dieser kann auch mehrere Umwandlungsschritte enthalten)

Die verschiedenen Prozesspfade sowie der konzeptionelle Unterschied zwischen CCU und CCS sind in Abbildung 3 dargestellt. In jedem Fall wird zunächst CO<sub>2</sub> aus einem industriellen Prozess oder Kraftwerk abgeschieden. Danach wird das CO<sub>2</sub> transportiert:

- CCS: zu einem Ort, der sich geologisch für die Speicherung des CO<sub>2</sub> im Untergrund eignet– etwa ausgeschöpfte Erdgas- oder Erdöl-Lagerstätten
- CCU: zu einem Ort, an dem CO<sub>2</sub> für einen bestimmten Prozess benötigt wird.
  - Dabei kann das CO<sub>2</sub> direkt eingesetzt werden, etwa für Entsalzungsanlagen sowie für die – vor allem in Nordamerika verbreitete – bessere Ausnutzung von geothermischen Quellen oder von Lagerstätten für Öl, Kohle oder Erdgas, beispielsweise enhanced oil recovery (EOR)
  - Es kann auch chemisch konvertiert werden: Häufige Anwendungszwecke sind etwa die Herstellung von Baustoffen, die Kultivierung von Algen oder die Erzeugung von Brennstoffen.

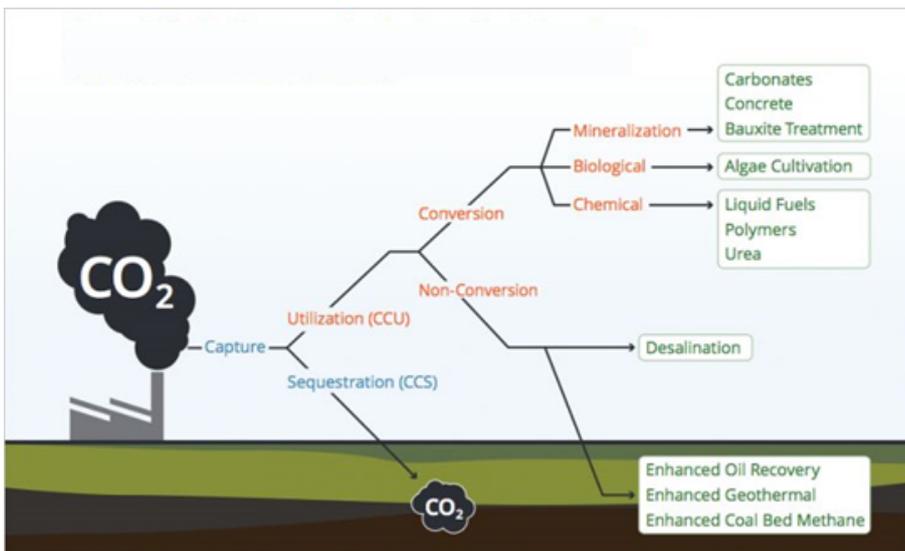


Abbildung 3: Darstellung möglicher Pfade zum Umgang mit abgeschiedenem CO<sub>2</sub>

Quelle: (Pembina Institute, 2015)

Im Folgenden werden die drei wesentlichen technologischen Schritte von CCU – die CO<sub>2</sub>-Aufkonzentration beziehungsweise -Abscheidung, der CO<sub>2</sub>-Transport sowie die Nutzung des CO<sub>2</sub> – näher beschrieben.

## 3.2 CO<sub>2</sub>-Aufkonzentration und Abscheidung

Die Abscheidung des CO<sub>2</sub> aus einem industriellen Prozess oder aus einem Kraftwerk zur Stromerzeugung beziehungsweise zur Kraft-Wärme-Kopplung stellt den ersten Schritt in der CCU-Prozesskette dar. CO<sub>2</sub> kann immer dann besonders effizient abgeschieden werden, wenn der Volumenstrom des Abgases hoch ist. Günstig ist darüber hinaus ein hoher CO<sub>2</sub>-Gehalt im Abgasstrom. Dieser muss jedoch unter Umständen durch einen höheren Aufwand vor dem Verbrennungsprozess 'energetisch erkauf' werden.

Für die Konzentration des CO<sub>2</sub> im Abgasstrom existieren im Wesentlichen drei unterschiedliche Verfahren. Diese wurden vorwiegend für den Kraftwerksbereich entwickelt und werden im Folgenden näher ausgeführt.

### 3.2.1 Post-Combustion-Verfahren

Dieses ist das am weitesten verbreitete und technologisch am stärksten ausgereifte Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung. Abgase aus der Verbrennung von Öl, Kohle oder Erdgas mit Luft bestehen aus CO<sub>2</sub> und einer Reihe anderer Gase wie N<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> und Staub. Diese müssen vor einer Weiterverwendung des CO<sub>2</sub> aus dem Gasgemisch beziehungsweise vor einem Transport (wie etwa in Pipelines oder per Schiff) so weit wie technisch möglich oder für den Nutzungszweck erforderlich entfernt werden.

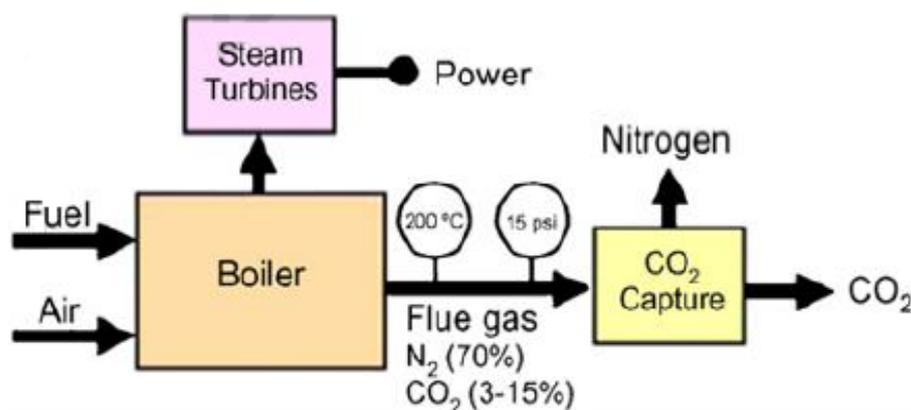


Abbildung 4: Prinzip des Post-Combustion-Verfahrens

Quelle: (Figueroa, 2008)

Diese Technologie kann auch in bestehende Anlagen vergleichsweise einfach nachträglich implementiert werden.

### 3.2.2 Oxyfuel-Verfahren

Gase wie NO, NO<sub>2</sub> und auch N<sub>2</sub> selbst sind bei der Verbrennung mit Luft durch den hohen Anteil von N<sub>2</sub> im Abgas enthalten. Diese Gase müssen nachher wieder aufwändig aus dem Abgas entfernt werden. Eine Alternative ist es daher, die Verbrennung gleich mit reinem O<sub>2</sub> durchzuführen. Damit werden wesentlich höhere CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Abgas erreicht. Lediglich Wasserdampf ist dem Abgas in hoher Konzentration beigemischt. Dieser kann jedoch durch Auskondensation relativ einfach und ohne besonderen Energieaufwand vom CO<sub>2</sub> wieder separiert werden.

Allerdings ist die Verbrennung mit Reinsauerstoff mit höheren Kosten verbunden als die Verbrennung mit Luft. Eine Hauptursache dafür ist, dass dieses Verfahren die Lagerung von Sauerstoff in flüssigem Zustand erfordert. Außerdem steigen die Verbrennungstemperaturen bei Verwendung von Reinsauerstoff stark an. Darauf sind die Komponenten des Verbrennungsprozesses normalerweise nicht ausgelegt. Daher müssen große Mengen an Abgas zur Kühlung verwendet werden (Rauchgas-Rückführung in den Verbrennungsraum). Generell zeigt sich, dass die Gesamt-Prozesseffizienz bei diesem Verfahren verhältnismäßig stark sinkt, da viel Energie zur Sauerstoffbereitstellung benötigt wird.

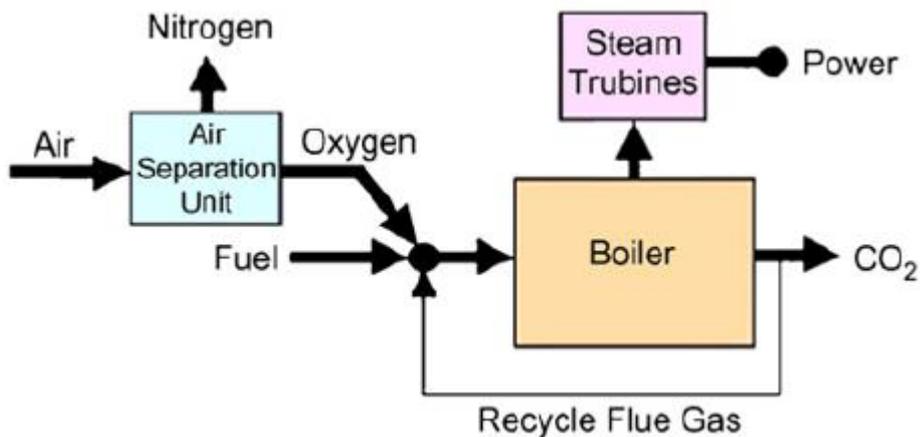


Abbildung 5: Prinzip des Oxyfuel-Verfahrens

Quelle: (Figueroa, 2008)

Die Implementierung in bestehende Anlagen ist wegen der sich gegenüber Verbrennung mit Luft ändernden Verbrennungscharakteristik problematisch. Nicht nur die Verbrennungstemperatur steigt, auch die Menge an Rauchgas sinkt. Weiters kann es bei älteren Anlagen zu Falschlufteintritt kommen und die geforderten Reinheiten des CO<sub>2</sub> werden so nicht mehr erreicht.

### 3.2.3 Pre-Combustion-Verfahren

Verglichen mit dem Post-Combustion- und dem Oxyfuel-Verfahren ist diese Variante die noch am wenigsten erprobte. Hierbei wird das CO<sub>2</sub> noch vor der Verbrennung des Energieträgers gewonnen. Verbrannt wird in diesem Fall ein Synthesegas mit hohem Wasserstoffanteil. Dieses kann etwa durch Kohlevergasung, bei der vor allem H<sub>2</sub>, CO und CO<sub>2</sub> entstehen, gewonnen werden. Allerdings entstehen auch Stoffe wie Staub, HF, HCl, H<sub>2</sub>S, NaCl oder KCl, die weitgehend entfernt werden müssen. Anschließend reagiert CO gemeinsam mit Wasserdampf zu CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>. Erfolgt diese Reaktion vor der Entschwefelung, so sind spezielle schwefelresistente Katalysatoren im CO-Shiftreaktor vorzusehen. Für die Abscheidung des CO<sub>2</sub> aus dem Synthesegas sind diverse physikalische Absorptionsverfahren geeignet. Dadurch entsteht hochreiner Wasserstoff zur Verwendung in einem GuD-Prozess.

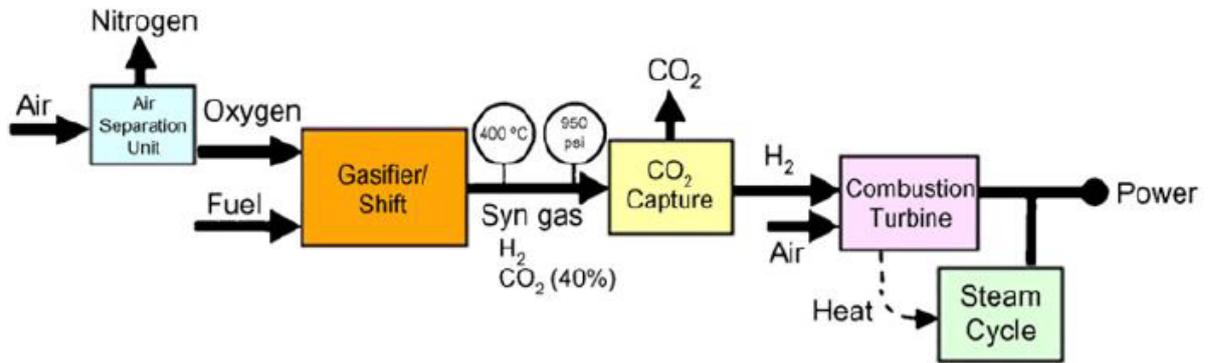


Abbildung 6: Prinzip des Pre-Combustion-Verfahrens

Quelle: (Figueroa, 2008)

Weitere Details zu den verschiedenen Abscheideverfahren finden sich z. B. in (Basile A., 2019) und (enArgus - CO2-Abscheidung, 2022).

### 3.2.4 CO<sub>2</sub>-Abscheidungstechnologien aus den Abgasströmen

CO<sub>2</sub>-Abscheidungstechnologien sind für CCU-Prozesse essenziell, um die notwendige Gasreinheit zu erreichen. Die Anzahl möglicher Verfahren, die auch großtechnisch angewendet werden können, ist in den letzten Jahren erheblich gestiegen.

Ein häufig angewendetes ist die Aminwäsche. Durch Kontakt mit einer wässrigen Aminlösung wird das CO<sub>2</sub> absorbiert und die Restgase können so vom CO<sub>2</sub> separiert und ausgestoßen werden.

Durch anschließende CO<sub>2</sub>-Strippung werden Aminlösung und CO<sub>2</sub> wieder getrennt, die Aminlösung kann wiederverwendet werden und das CO<sub>2</sub> kann in hochreiner Form gesammelt, komprimiert und gekühlt werden. Bei entsprechend hohem Druck (circa sechs bar) und niedriger Temperatur (etwa -50 °C) kann es im flüssigen Aggregatzustand und somit sehr platzsparend zwischengelagert werden.

Dieses Verfahren und zahlreiche andere Wege zur Aufkonzentration des CO<sub>2</sub> aus dem Abgasstrom sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Dabei ist auch jeweils das Technology Readiness Level (TRL) angegeben und dessen Entwicklung zwischen 2014 und 2020.

Tabelle 2: Technologien zur Aufkonzentration des CO<sub>2</sub> und deren technologische Reife

Technologie	TRL 2014	TRL 2020
Aminwäsche	9	9
Lösungsmittel für Erdgaswäsche (Rectisol, Selexol)	9	9
Benfield-Prozess (Gaswäsche)	nicht angegeben	9
Gastrennmembran für Erdgasaufbereitung	nicht angegeben	9

Technologie	TRL 2014	TRL 2020
Druckwechseladsorption/Vakuumwechseladsorption	3	9
Sterisch gehinderte Amine	6 bis 8	6 bis 9
Polymermembranen	6	7
Elektrochemische Membranen (MCFCs)	nicht angegeben	7
Gekühlter Ammoniak	6	6 bis 7
CaCO <sub>3</sub> -Looping	6	6 bis 7
Allam-Vetvedt-Kreislauf	2	6 bis 7
Wasserarme Lösungsmittel	4 bis 5	4 bis 7
Temperaturwechseladsorption	1	5 bis 7

Gemessen in TRLs nach (Horizon 2020, 2014)

Quelle: (Global CCS Institute, 2021), eigene Darstellung

Die Bedeutung der einzelnen TRLs richtet sich nach der Einstufung gemäß (Horizon 2020, 2014), siehe folgende Tabelle.

Tabelle 3: Definition der Technology Readiness Levels (TRLs)

TRL-Level	Beschreibung (Horizon 2020)
1	Grundprinzipien beobachtet
2	Technologiekonzept formuliert
3	Experimenteller Nachweis des Konzepts
4	Technologie im Labor überprüft
5	Technologie in relevanter Umgebung überprüft
6	Technologie in relevanter Umgebung getestet
7	Test eines System-Prototyps im realen Einsatz
8	System ist komplett und qualifiziert
9	System funktioniert in operationeller Umgebung

Quelle: (Horizon 2020, 2014)

### 3.3 Erfolgsfaktoren

Eine Analyse aus dem Jahr 2018 hat gezeigt, dass ein großer Anteil an CCU-Projekten nach kurzer Zeit nicht mehr weiterverfolgt wird. Daher stellt sich die Frage nach wesentlichen Hürden oder – positiv formuliert – Erfolgsfaktoren, die bei der Planung und Umsetzung von CCU-Konzepten zu beachten sind (siehe dazu auch (Simon S., 2020)).

Eine CCU- oder auch CCS-Abscheideanlage sollte von Beginn an mitgeplant werden. Dies bedeutet, dass die Implementierung in neuen industriellen Anlagen oder Kraftwerken höhere Erfolgsaussichten verspricht als die nachträgliche Implementierung. Dabei sind besonders folgende Aspekte zu beachten:

- Zugang zum Abgas: Das Abgas muss an einer geeigneten Stelle zwischen Verbrennung und Ende der Abgasführung zugänglich sein, damit die Abscheideanlage implementiert werden kann. Dementsprechend ist ein gewisser Platzbedarf gegeben, der sich in Bestandsanlagen nicht immer realisieren lässt.
- Reinigung des CO<sub>2</sub>: Je nach zu implementierender CO<sub>2</sub>-Abscheidetechnologie sind entsprechende Reinigungsprozesse vorzusehen. Diese hängen zum Teil auch von den Anforderungen des Prozesses, den das CO<sub>2</sub> versorgen soll, zusammen. Das Post-Combustion-Verfahren ist bei Bestandsanlagen normalerweise am geeignetsten.
- Zustand des CO<sub>2</sub>: Zur Vorbereitung auf den Transport muss das CO<sub>2</sub> entweder verflüssigt werden oder in den überkritischen Zustand übergeführt werden. Entsprechende Anlagen, welche die dafür jeweils notwendigen Temperaturen und Drücke herstellen können, sind daher in der Nähe der Abscheideanlage vorzusehen.
- Transport des CO<sub>2</sub>: Ein entsprechendes Transportsystem ist erforderlich, um das CO<sub>2</sub> an seinen Nutzungsort transferieren zu können. Die zur Verfügung stehenden Optionen sind Pipeline, Schiff, LKW und Bahn. Im Falle von Pipelines ist der Zwischenlagerung weniger Bedeutung beizumessen. Wird das CO<sub>2</sub> jedoch auf Schiffe, Bahn oder LKW verladen, so sind jedenfalls auch ausreichende Speichermöglichkeiten vorzusehen. Bei der Nutzung des CO<sub>2</sub> im selben Betrieb fällt die Transportlogistik weg. Daher ist nach Möglichkeit die Eigennutzung vorzuziehen.
- CO<sub>2</sub>-Senke (Storage or Usage): Ebenso muss eine geeignete Endnutzung des CO<sub>2</sub> gegeben sein. Diese sollte möglichst leicht erreichbar sein, bezüglich der Reinheitsanforderungen mit der Reinigungstechnologie am Abscheideort kompatibel sein und entsprechende Mengen abnehmen können. Die Senke sollte auch – vertraglich gesichert – möglichst langfristig zur Verfügung stehen, um den Aufwand für Abscheidung, Speicherung und Transportinfrastruktur rechtfertigen zu können.

Überprüfung der Abscheidetechnik unter Realbedingungen:

- Das Erreichen der geforderten CO<sub>2</sub>-Reinheiten hängt entscheidend von den genauen Prozessparametern ab. Simulationen oder Erfahrung aus ähnlichen Anlagen können gute Anhaltspunkte für die grundsätzliche Eignung einer Abscheidetechnik liefern. Jedoch wird in jedem Fall empfohlen, die gewählte Abscheidetechnik unter Realbedingungen zu prüfen. Dabei sind die Eignung der Komponenten des Verbrennungsraumes, die Abscheidetechnologie selbst sowie auch die erreichte Reinheit des CO<sub>2</sub> von Bedeutung.
- Einflussparameter, welche die Eignung der CO<sub>2</sub>-Abscheidetechnik maßgeblich beeinflussen können, sind etwa die Abgaszusammensetzung und die Temperatur des Abgases.

Einbindung aller Stakeholder von Beginn an:

- Einerseits sind hier die Betreiber der einzelnen technischen Schritte, z. B. vom Industriebetrieb oder Kraftwerk, vom Transportunternehmen und von der Abnahmestelle einzubinden.
- Außerdem sind die technischen und finanziellen Möglichkeiten beziehungsweise die Vorstellungen gut aufeinander abzustimmen.
- Ebenso ist die öffentliche Hand hinsichtlich notwendiger Betriebsgenehmigungen sowie möglicher Förderungen frühzeitig in die Projektierung einzubinden.
- Andererseits kann speziell bei CCS die öffentliche Meinung besonders kritisch sein. Hier können etwa Bedenken bezüglich der Dichtheit der Lagerstätte, aber auch hinsichtlich dadurch induzierter seismischer Aktivitäten sein. Letztere sind nicht unrealistisch: Bereits in der Vergangenheit haben geothermische Projekte mutmaßlich Erdbeben ausgelöst. Bei CCU scheint dieses Thema im Allgemeinen nicht von großer Relevanz zu sein.

Sicherstellung langfristiger finanzieller Rahmenbedingungen:

Seitens der öffentlichen Hand sind zwei Stützungsmöglichkeiten denkbar:

- Förderung von Investitionskosten und Zahlung eines Preises pro Tonne abgeschiedenes CO<sub>2</sub>. Bei Letzteren muss klargestellt werden, dass die Zahlungen langfristig in einer gewissen (Mindest-)Höhe verfügbar sein werden. Basierend darauf ist eine Wirtschaftlichkeitsanalyse durchzuführen.
- Ebenso ist die langfristige Verfügbarkeit eines Abnehmers des CO<sub>2</sub> ein entscheidender Faktor. Die finanziellen Rahmenbedingungen zwischen Inhaber der Abscheideanlage, des Transportsystems sowie der CO<sub>2</sub>-Nutzung sollten möglichst langfristig sichergestellt sein.
- Auch der Preis für die Emission von CO<sub>2</sub> spielt bei den wirtschaftlichen Überlegungen eine Rolle.

Gründliches Risikomanagement:

Generell müssen spezifische Risikofaktoren in der Betriebsführung und in der gesamten CCU-Prozesskette analysiert und bewertet werden. Viele Risikofaktoren wurden bereits zuvor genannt.

### 3.3.1 Kosten

Die Kosten der CO<sub>2</sub>-Abscheidung hängen im Wesentlichen von zwei Faktoren ab:

- Größe der Anlage, das heißt dem Abgasdurchfluss, und
- Konzentration des CO<sub>2</sub> im Abgasstrom

Das wird in Abbildung 7 veranschaulicht. Je größer die Anlage ist und je reiner das CO<sub>2</sub>, umso niedriger sind die Kosten pro abgeschiedene Menge CO<sub>2</sub>.

Bei allen Kostendarstellungen wird darauf hingewiesen, dass diese zwar auf relativ aktuellen Untersuchungen beruhen, sich aber durch die in den letzten Monaten massiv gestiegenen Energiepreise erhebliche Erhöhungen ergeben. Die in der Grafik angeführten Werte sind in US-Dollar, die Preiserhöhungen erlauben es jedoch, diese Werte als Euro-Werte zu interpretieren (Stand 01.04.2022.: 1,00 Euro = 1,12 US-Dollar). Dies stellt aber nur eine ungefähre Abschätzung des Einflusses des Energiepreisanstiegs der letzten Monate dar. Sobald sich die Lage am Markt stabilisiert hat, ist eine generelle Neubewertung der Kosten vorzunehmen. Dies ist bisher nicht absehbar und daher sind Kostenangaben bis auf Weiteres nur mit Vorsicht anzuwenden.

Bei Normaldruck entsprechen die angegebenen kPa-Werte in etwa dem CO<sub>2</sub>-Gehalt in %. Während bei einem CO<sub>2</sub>-Anteil von circa 1 % (zum Vergleich: die atmosphärische Konzentration liegt bei etwa 0,04 %) Kosten zwischen 200 Euro und 300 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub> zu erwarten sind (bei großer Anlagengröße gelten die niedrigeren Werte), liegen die Kosten bei einem CO<sub>2</sub>-Anteil von 2 % nur mehr bei etwa 150 Euro pro Tonne. Ab etwa 10 % liegen die Kosten bei etwa 50 Euro pro Tonne und sinken auch bei höheren Konzentrationen kaum noch ab.

Eine eventuell notwendige, spezielle Reinigung (je nach konkreter Abgaszusammensetzung oder Reinheitsanforderung, bedingt durch den Usage-Process) kann Zusatzkosten verursachen, die hier nicht spezifisch dargestellt werden können.

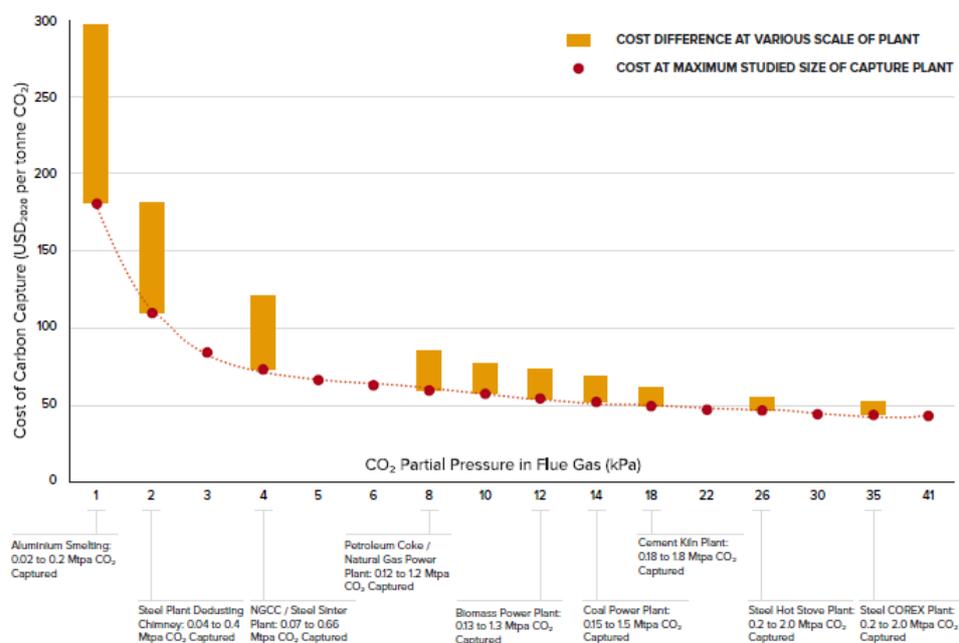


Abbildung 7: Abhängigkeit der Kosten für CO<sub>2</sub>-Abscheidung von der Größe des Projektes und der CO<sub>2</sub>-Konzentration

Quelle: (Global CCS Institute, 2021)

### 3.4 CO<sub>2</sub>-Transport

Normalerweise wird das CO<sub>2</sub>, das aus einem bestimmten Prozess abgeschieden wurde, nicht am selben Ort weiterverwendet, sondern muss zum Einsatzort transportiert werden. Natürlich sind kurze Wegstrecken aus Kosten- und Ressourcengründen vorteilhaft, aber nicht immer möglich. Die Auswahl der Transportoption hängt von der vorhandenen Infrastruktur, der Menge an CO<sub>2</sub> und den geografischen Lagen von Abscheideort und Nutzungsort ab.

### 3.4.1 Transportoptionen

Je nach Entfernung und der Frage, ob der Transport über Land oder über Wasser erfolgen kann, bieten sich unterschiedliche Transportmöglichkeiten an:

- Offshore-Pipeline
- Onshore-Pipeline
- Schiff
- LKW
- Bahn

Der technologische Fortschritt der einzelnen Transportsysteme, ausgedrückt in Technology Readiness Levels (TRLs), ist in Abbildung 8 zu sehen.

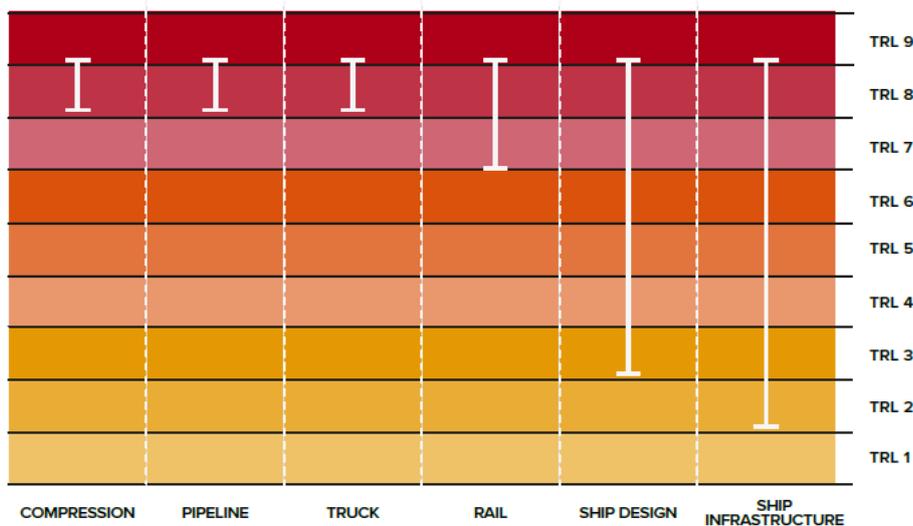


Abbildung 8: TRL der CO<sub>2</sub>-Transportoptionen

Quelle: (Global CCS Institute, 2021)

Die CO<sub>2</sub>-Kompression und auch die CO<sub>2</sub>-Verflüssigung sind bereits seit Langem erprobt und daher mit dem höchsten TRL von 9 zu bewerten. Auch der Transport mit LKW und Bahn ist erprobt. Ähnliche Güter wie LNG oder CNG, die noch dazu brennbar sind, werden bereits seit Langem über diese Transportpfade bewegt. Das TRL beim Transport mit dem Schiff schwankt in einem weiten Bereich, da in einem kleinen Maßstab bereits mehr Erfahrung und realisierte Konzepte existieren als im großen Maßstab.

### 3.4.1.1 Pipelines

Grundsätzlich können Pipelines onshore oder offshore verlaufen. Bei einem konkreten Projekt besteht aber meist ohnehin keine Wahl. Bisher sind CO<sub>2</sub>-Pipelines fast nur in den USA, in Kanada errichtet worden (circa 6.000 km), meist in Zusammenhang mit Enhanced Oil Recovery (Global CCS Institute, 2012). Erste Projekte existieren auch in Europa. Die meisten Netze wurden in den 80er- und 90er-Jahren errichtet.

In Pipelines wird CO<sub>2</sub> überkritisch (das heißt bei über 31 °C und bei 73 bar) transportiert. Dies erlaubt ebenso wie die flüssige Phase einen hohen Volumenstrom. Die Anforderungen an die Wärmedämmung sind dadurch aber geringer als bei Verflüssigung.

Folgende Punkte sind bei CO<sub>2</sub>-Pipelines sicherzustellen:

- Überwachung der Gasreinheit: Verunreinigungen können die Pipelines beschädigen und sind überdies ein Anzeichen für Undichtheiten im System. Abgesehen davon ist eine hohe Gasreinheit meist auch eine Anforderung für den anschließenden Nutzungsprozess.
- Korrosionsüberwachung
- Druck- und Durchflussmessung
- Leck-Überwachung inklusive automatische Absperrung bei Lecks: Einfache Systeme bestehen aus Durchflussmessgeräten in regelmäßigen Abständen. Bei instationären Betriebszuständen ist es jedoch vorteilhaft, auch jeweils eine Korrektur anhand der Druck- und Temperaturverhältnisse durchzuführen.
- Riss-Stopper: Um bei der nicht gänzlich vermeidbaren Bildung von Rissen den Schaden örtlich begrenzen zu können, werden Riss-Stopper eingesetzt. Dies sind Segmente aus Faserverbundwerkstoff, die in Abständen von etwa 300 m vorgesehen werden. Eine Pipeline besteht üblicherweise aus 300 Meter langen Stahlrohren, zwischen denen sich kurze Elemente aus Faserverbundwerkstoff befinden.
- Überwachung der Pipelinetrasse: Anzeichen von CO<sub>2</sub>-Austritt erkennen
- Sicherheitsabstand zur Pipelinetrasse: circa fünf Meter

Generell kann festgestellt werden, dass für CO<sub>2</sub>-Pipelines ähnliche Vorgaben wie bei Erdgasleitungen gelten. Dies ist auch die Ursache dafür, dass trotz der geringen Verbreitung von CO<sub>2</sub>-Pipelines bereits eine hohe technologische Reife gegeben ist.

Anforderungen an Pipelines sind in der Norm (ISO, 2016) formuliert.

Weitere Informationen finden sich in (Forschungszentrum Jülich, 2022)

### 3.4.1.2 CO<sub>2</sub>-Transport mit Schiff, LKW oder Bahn

CO<sub>2</sub> kann, außer über Pipelines, auch mit verschiedenen Arten von Fahrzeugen transportiert werden, darunter vor allem Schiffe, LKWs und Bahn. Im Verhältnis zu Pipelines wird der Fahrzeugtransport tendenziell bei größeren Distanzen ökonomisch interessanter.

In Schiffen wird das CO<sub>2</sub>, im Gegensatz zu Pipelines, flüssig transportiert. Dies erfolgt bei etwa minus 50 °C und 6 bar.

### 3.4.2 Kosten des CO<sub>2</sub>-Transports

Die Kosten des CO<sub>2</sub>-Transports sind, sofern keine Distanzen über Tausende Kilometer überwunden werden müssen, wesentlich geringer als bei der CO<sub>2</sub>-Abscheidung.

Die folgenden beiden Grafiken zeigen die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Kosten des CO<sub>2</sub>-Pipeline-Transports:

- Offshore-Pipelines sind etwas teurer als Onshore-Pipelines.
- Mit steigendem Durchfluss sinken die spezifischen Kosten pro Tonne CO<sub>2</sub> erheblich.
- Vor allem bei niedrigen Durchflüssen divergieren die Angaben verschiedener Analysen stark.
- Die Abhängigkeit der Kosten von der Länge des Transportweges ist bei Pipelines stärker ausgeprägt als bei Schiffen, wo vor allem das Be- und Entladen sowie die Verflüssigung hohe Kosten verursacht (diese sind unabhängig von der Entfernung notwendig). Bei Pipelines spielen besonders die Errichtung der Pipeline und die regelmäßigen Verdichterstationen eine Rolle. Diese sind in etwa proportional zur Entfernung.
- Die Kosten für die Vorbereitung des CO<sub>2</sub>, also Komprimierung und Trocknung auf 0,02 Volumenprozent Wasser, bewegen sich im selben Rahmen wie der Transport. Beim Transport mit Schiffen kommt noch die Verflüssigung hinzu (diese ist beim Schiffstransport miteingerechnet).

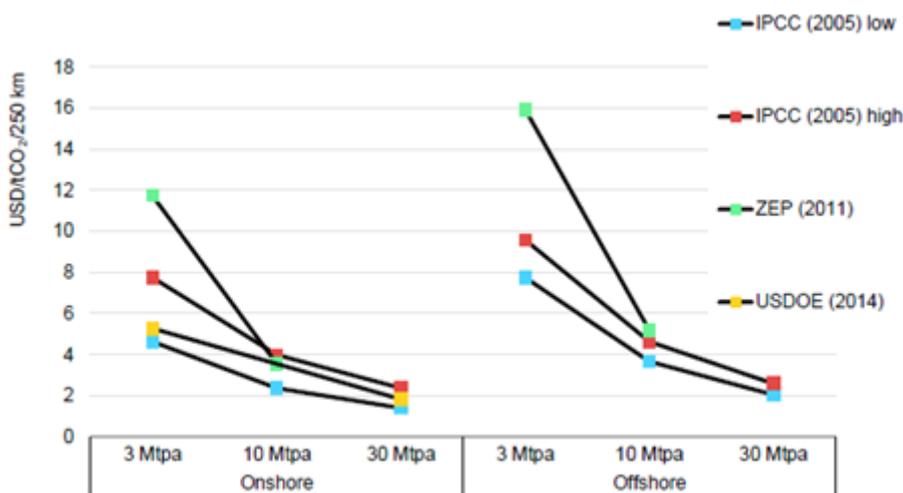


Abbildung 9: Kosten des CO<sub>2</sub>-Transports in einer Pipeline in Abhängigkeit des Durchflusses und der Lage der Pipeline (an Land oder offshore),

ZEP bedeutet Zero Emissions Platform, USDOE bedeutet US Department of Energy, Mtpa bedeutet Megatonnen pro Jahr

Quelle: (Energy Technology Perspectives, 2020)

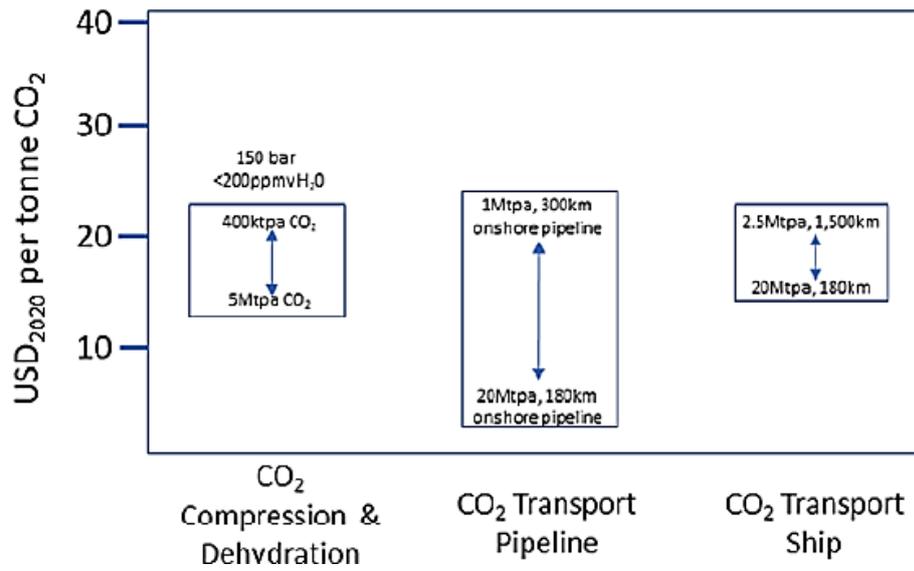


Abbildung 10: Kosten für Komprimierung und Trocknung, Pipeline-Transport und Schifftransport (inklusive Verflüssigung) für CO<sub>2</sub> an der US-Golfküste im Jahr 2020 in US-Dollar

Angaben basierend auf European Zero Emission Technology and Innovation Platform, US National Petroleum Council und Global CCS Institute-Prozesssimulation (Lebensdauer: 30 Jahre)

Quelle: (Global CCS Institute, 2021)

### 3.5 CO<sub>2</sub>-Nutzung

Für die Nutzung von abgeschiedenem CO<sub>2</sub> existiert eine breite Auswahl von Technologien beziehungsweise Nutzungspfaden. Diese sind in Abbildung 11 dargestellt.

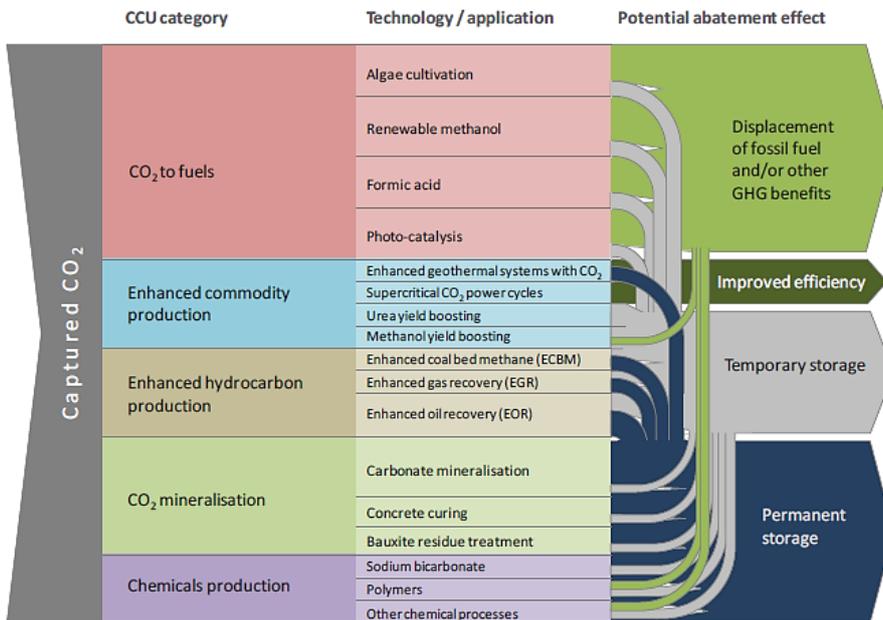


Abbildung 11: Technologische Optionen zur Nutzung von abgeschiedenem CO<sub>2</sub> (CCU) mit Darstellung des Effektes auf den globalen CO<sub>2</sub>-Haushalt (rechter Teil)

Quelle: (IEAGHG, 2018)

Im Wesentlichen existieren folgende Nutzungspfade:

- Herstellung von Kraftstoffen (Ersatz von fossilem Benzin, Diesel, Kerosin, Ethanol)
  - Die Herstellung von Kraftstoffen benötigt CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>. H<sub>2</sub> wird meist durch Elektrolyse von Wasser erzeugt. Das benötigte CO<sub>2</sub> kann dabei aus einem CCU-Abscheideprozess stammen. Dabei sollte möglichst ausschließlich erneuerbar generierter Strom verwendet werden. H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> reagieren schließlich zu Kohlenwasserstoffen. Die deutsche DENA hat berechnet, dass der gesamte EU-Verkehrssektor bis 2050 bis zu dreimal so viel Strom für H<sub>2</sub> benötigen könnte wie derzeit in der EU insgesamt produziert wird. Weiters werden Katalysatoren benötigt, die große Mengen an Rohstoffen benötigen. (DENA, 2021)
- Stoffliche Nutzung
  - Aus CO<sub>2</sub> können Produkte wie Beton oder verschiedene Carbonate erzeugt werden, die z. B. in der Bauwirtschaft benötigt werden.

- Herstellung von Chemikalien
  - Das weltweite Potenzial zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung im Rahmen von CCU wird wie folgt abgeschätzt (IEAGHG, 2021):
    - Treibstoffe (> 1 Gt/a)
    - Baumaterialien (> 100 Mt/a; noch größer, wenn CO<sub>2</sub> aus Luft gewonnen wird)
    - Chemikalien und Polymere (zusammen, ohne Methanol: < 20 Mt/a)
    - Hier ist besonders die Erzeugung aller Arten von Polymeren relevant. Das Potenzial wird aber vergleichsweise gering eingeschätzt. Derzeit sind die Kosten bei Herstellung von Polymeren und Baumaterialien eher konkurrenzfähig als bei E-Fuels.

### 3.6 Anlagen in der EU

Nach (Zero Emissions Platform, 2022) existieren derzeit folgende acht CCU-Projekte in der EU sowie ein Projekt in Norwegen. Diese sind in der folgenden Tabelle kurz beschrieben.

Tabelle 4: Kurzbeschreibung der neun europäischen CCU-Projekte

Staat	Projektname oder-kürzel	Kurzbeschreibung
Belgien	(FLITE, 2022)	150 Millionen Euro-Projekt: CO <sub>2</sub> -Abscheidung aus Hochofen in Gent, daraus Produktion von circa 80 Millionen Liter Bioethanol pro Jahr, basierend auf einem mikrobiellen Gaskonversionssystem. Die Fertigstellung ist für circa 2025 geplant.
Belgien	(North-CCU-Hub, 2022)	Demoanlage mit 63 MW Elektrolyseur und 45.000 Tonnen pro Jahr Methanol bis 2024 geplant. Energiequelle für Elektrolyse ist Offshore-Wind. Anfallendes O <sub>2</sub> wird in der Stahlindustrie genutzt. H <sub>2</sub> und CO <sub>2</sub> (aus diversen Industriebetrieben) wird zu Methanol umgesetzt. 2028: 300 MW Elektrolyseur mit Ammoniaksynthese.
Belgien	(Power to Methanol Antwerp, 2022)	Mit H <sub>2</sub> aus der H <sub>2</sub> O-Elektrolyse mittels Wind- und Solarenergie und CO <sub>2</sub> aus Kraftwerk wird Methanol erzeugt. Fertigstellung 2023. Keine Angaben zur Anlagengröße.
Deutschland	(Westküste 100, 2022)	Produktion von H <sub>2</sub> aus Offshore-Windenergie und Nutzung der dabei entstehenden Abwärme. Nutzung des H <sub>2</sub> für Flugzeugtreibstoffe und Einspeisung in Gasnetze. Nutzung von CO <sub>2</sub> aus regionaler Zementproduktion. Derzeit Errichtung einer 30 MW-Elektrolyse-Demoanlage, danach 700 MW-Anlage geplant.

Staat	Projektname oder-kürzel	Kurzbeschreibung
Spanien	(CCU Lighthouse Carboneras, 2022)	CO <sub>2</sub> aus der Zementherstellung wird abgeschieden und in der Landwirtschaft zur Erhöhung des Ertrags genutzt. Damit können Wasser und Nährstoffe bei gleichbleibender Produktion eingespart werden. Ziel ist es, jährlich 700.000 Tonnen CO <sub>2</sub> zu nutzen. 2022 sind es etwa 70.000 Tonnen.
Niederlande	(AVR Duiven, 2022)	Fertigstellung erfolgte 2019. Die ersten 7.500 Tonnen CO <sub>2</sub> gingen in den Gartenbau. Das CO <sub>2</sub> stammt aus Industrieabfall. Kapazität: 100.000 Tonnen CO <sub>2</sub> pro Jahr.
Niederlande	(Twence, 2022)	In einer Abfallverwertungsanlage mit einer Kapazität von 1.000.000 Tonnen pro Jahr werden ab Ende 2023 aus dem Abgas 100.000 Tonnen CO <sub>2</sub> pro Jahr abgeschieden. Das CO <sub>2</sub> wird verflüssigt und mit LKWs zu nahegelegenen Treibhäusern transportiert.
Norwegen	(Norsk E-Fuel, 2022)	CO <sub>2</sub> stammt aus der Luft und aus diversen Abgasen. Aus CO <sub>2</sub> entsteht Syngas (Mischung aus H <sub>2</sub> und CO) unter Nutzung erneuerbaren Stromes. In einem Fischer-Tropsch-Reaktor werden Kohlenwasserstoffe unterschiedlicher Länge hergestellt. Die Abwärme wird zur Dampferzeugung genutzt, um den Prozesswirkungsgrad zu steigern. Baustart ist 2023, ab 2024 werden 12,5 Millionen Liter Biofuel pro Jahr erzeugt.
Schweden	(Project AIR, 2022)	Pro Jahr sollen 500.000 Tonnen CO <sub>2</sub> zur Methanolproduktion für die chemische Industrie genutzt werden. Das CO <sub>2</sub> fällt im selben Betrieb an, in dem das daraus produzierte Methanol genutzt wird. Die Elektrolyse läuft über erneuerbar produzierten Strom aus gereinigtem Abwasser. Die Fertigstellung ist für 2025 geplant.

Unter (Scot Project, 2022) finden sich noch eine größere Zahl von CCU-Projekten. Die Gesamtzahl der Einträge beträgt 212 (Stand: 01.04.2022). 143 davon befinden sich in Europa, 59 in Nordamerika, sechs in Asien und vier in Australien. 183 der 212 Projekte befinden sich in nur acht Staaten: 49 in den USA, 42 in Deutschland, 28 in UK, 17 in den Niederlanden, 16 in Belgien, 13 in Frankreich, zehn in Kanada, acht in Spanien.

Jedoch beziehen sich einige der Einträge auf z. B. bereits abgeschlossene Forschungsprojekte (24 Stück) oder Firmen, die Konzepte anbieten. Bei 173 der Projekte ist der Status nicht angegeben. Es ist daher anzunehmen, dass hier auch viele Ideen eingetragen wurden, die sich (noch) nicht in realen Projekten wiederfinden. Eine Analyse einiger angegebener Projekte zeigte, dass dies oft Firmen sind, die ihre Produkte im CCU-Bereich anbieten. Dabei finden sich aber keine konkreten Realisierungen.

Die Einträge gliedern sich wie folgt:

- Nur Capture: 17
- CO<sub>2</sub> to Fuel: 93
- Produktion von Chemikalien: 49
- CO<sub>2</sub>-Mineralisierung: 44

Welche Ideen oder Forschungsprojekte nun als konkretes Realisierungsprojekt gezählt werden, ist also bei verschiedenen Quellen unterschiedlich definiert. Die Analyse deutet aber jedenfalls darauf hin, dass in den nächsten Jahren ein bedeutender Schub bei der Realisierung von CCU-Projekten in der EU zu beobachten sein wird, während der Schub bei CCS-Projekten bereits einige Jahre früher eingetreten zu sein scheint.

Obwohl in der Literatur neben der Produktion von Treibstoffen vor allem die Umsetzung in Baustoffen und Polymeren erwähnt wird, zeigt sich bei den konkret geplanten Projekten ein etwas anderes Bild: Der verstärkte Fokus bei der landwirtschaftlichen Nutzung liegt auf der Ertragssteigerung.

Beiden Nutzungspfaden ist gemein, dass das CO<sub>2</sub> nur für eine sehr kurze Zeit der Atmosphäre entzogen wird. Umso wichtiger wird es sein, bei der ökologischen Betrachtung jeweils genau die Alternative (wie wäre die Situation ohne das über CCU bereitgestellte CO<sub>2</sub>?) zu definieren.

## 4 Mögliche Umweltauswirkungen (Gesundheitsrisiken)

Im Normalbetrieb von CCUS-Anlagen sind für die Umwelt beziehungsweise für die menschliche Gesundheit in aller Regel keine negativen Auswirkungen zu erwarten. Gesundheitsrisiken können sich aber infolge von Unfällen (etwa Entweichen des CO<sub>2</sub>) oder durch eine allmähliche Freisetzung aus dem Speicherkomplex ergeben (im Falle der geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub>).

Ein unvorhergesehener Austritt von CO<sub>2</sub> ist allerdings in der gesamten CCUS-Prozesskette möglich; eine Leckage aus dem Transportsystem oder aus dem Speicher im Falle einer CO<sub>2</sub>-Speicherung würde dabei voraussichtlich größere Auswirkungen nach sich ziehen als der CO<sub>2</sub>-Austritt an einer Abscheideanlage (Environment Agency (UK), 2011).

### **Mögliche Auswirkungen bei der CO<sub>2</sub>-Abscheidung**

Die möglichen Umweltauswirkungen der Abscheidung hängen von der angewendeten Abscheidetechnologie ab. Bei vielen Abscheideverfahren sind vor allem die möglichen direkten Umweltauswirkungen durch die beim Abscheideprozess eingesetzten Substanzen zu betrachten und weniger die durch das abgetrennte CO<sub>2</sub> selbst.

Mögliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, die Arbeitssicherheit und die Umwelt sind insbesondere für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung durch Aminwäsche gut untersucht, da diese ein lang etabliertes Verfahren, z. B. für die Erdgasaufbereitung, ist. Diese Untersuchungen fokussieren sich insbesondere auf Auswirkungen von Amin-Emission mit dem CO<sub>2</sub>-abgereicherten Abgasstrom, also während des regulären Betriebs. In geringem Umfang kann auch ein Schlupf von Aminen und gegebenenfalls von seinen Abbauprodukten in den abgeschiedenen CO<sub>2</sub>-Strom geraten. Austretende Amine können in der Luft Nitramine (auch Nitramide) und Nitrosamine (zum Teil krebserregend) bilden und zur Bildung sekundärer Aerosole führen. Zudem müssen die verbrauchten Aminlösungen entsorgt werden. Pro einer Million Tonnen abgeschiedenem CO<sub>2</sub> fallen bis zu 4.000 Tonnen Aminabfall an. (Geertje Dautzenberg, Thomas Bruhn, 2013)

Die CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Rauchgasen von Kraftwerken mittels Aminwäsche oder unter Verwendung der Oxyfuel-Technologie kann unter Umständen zu einer weitergehenden Reduzierung der direkten SO<sub>x</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen im Vergleich zu Rauchgasen von Kraftwerken ohne CO<sub>2</sub>-Abscheidung führen, da diese Substanzen – bedingt durch die Anforderungen des Abscheideprozesses – vor Eintritt in die Abscheidung weitgehend entfernt werden müssen.

Bei anderen industriellen CO<sub>2</sub>-Quellen hängen mögliche Umweltauswirkungen von den eingesetzten Energieträgern und Rohstoffen sowie von der Reinigung der abgeschiedenen CO<sub>2</sub>-Ströme ab.

### **Mögliche Auswirkungen beim CO<sub>2</sub>-Pipeline-Transport**

Im Gegensatz zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung könnte beim Pipelinetransport eine Freisetzung großer CO<sub>2</sub>-Mengen in kurzer Zeit, z. B. durch Unfälle erfolgen, die große Auswirkungen auf Arbeitssicherheit und die menschliche Gesundheit haben könnten. Während des regulären Betriebs sind kaum akute Auswirkungen zu erwarten.

Bei einer Freisetzung großer CO<sub>2</sub>-Mengen aus der Pipeline wird die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Umgebung mit zunehmender Entfernung von der Pipeline rasch sinken. Die Freisetzung des CO<sub>2</sub> ist vom Abstand der Sicherheitsventile und von der Geschwindigkeit und dem Ausmaß des Druckverlusts in der Pipeline abhängig. Diese wiederum hängen von zahlreichen Faktoren ab, wie z. B. dem Transportdruck und der Temperatur im Normalbetrieb, dem Pipeline-Durchmesser und der -Wandstärke und der Ursache der CO<sub>2</sub>-Freisetzung. Zudem beeinflusst die mögliche Bildung und ggf. die Sublimation von festem CO<sub>2</sub> (Trockeneis) an der Austrittsstelle die Menge und die Verteilung des freigesetzten CO<sub>2</sub>.

Das freigesetzte CO<sub>2</sub> kann sich aufgrund seiner um circa 50 Prozent höheren Dichte im Vergleich zu Luft bevorzugt in Bodennähe und besonders in Vertiefungen ansammeln. Je nach Gelände und meteorologischen Bedingungen kann sich das angesammelte CO<sub>2</sub> auch mehr oder weniger schnell in der Luft verteilen. In Bereichen höherer CO<sub>2</sub>-Konzentrationen besteht die Möglichkeit einer Beeinträchtigung der Gesundheit von Menschen und anderen Lebewesen. Die schädliche Wirkung des CO<sub>2</sub> entsteht durch eine Kombination eines erhöhten CO<sub>2</sub>-Gehaltes im Blut (Hyperkapnie), eines erniedrigten pH-Wertes des Blutes (Übersäuerung, Azidose) und O<sub>2</sub>-Verdrängung in der Lunge (Erstickung).

Die möglichen Auswirkungen bei der Verwendung des CO<sub>2</sub> hängen diese sehr vom industriellen Prozess ab. Im Falle von etablierten Prozesse, die bereits jetzt CO<sub>2</sub> verwenden, gibt es bereits existierende Vorschriften. Im Falle von innovativen Prozessen ist abzuklären, ob diesem Aspekt bereits ausreichend berücksichtigt sind.

### **Verbot der dauerhaften geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid in Österreich**

Basierend auf der EU Richtlinie 2009/31/EG gibt es in Österreich ein Bundesgesetz über das Verbot der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid. Von Seiten des Gesetzgebers wurde moniert, dass die mit CCS verbundenen Gefahren und Umweltauswirkungen nicht verlässlich abgeschätzt werden können. In einem Abstand von fünf Jahren wird von der Bundesregierung, unter Berücksichtigung internationaler Erfahrungen ein Bericht erstellt werden, der den technischen Fortschritt und die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse zu berücksichtigen hat. Der nächste Bericht ist im Jahr 2023 fällig.

Die CCS-Richtlinie sieht neben Bestimmungen zur umweltverträglichen geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid auch eine Pflicht zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung für die Abscheidung, den Transport und die geologische Speicherung von Kohlenstoffdioxid vor (Artikel 31 der Richtlinie 2009/31/EG über die geologische Speicherung von Kohlendioxid – CCS-Richtlinie).

Gemäß Artikel 31 der CCS-Richtlinie ist für Anlagen zur Abscheidung von Kohlenstoffdioxidströmen zum Zweck der geologischen Speicherung aus Anlagen des Anhanges I der UVP-Richtlinie<sup>3</sup> (dies sind unter anderem thermische Kraftwerke) oder mit einer jährlichen Abscheidung von insgesamt 1,5 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> eine UVP durchzuführen. In Anbetracht des hohen Energiebedarfs der CO<sub>2</sub>-Abscheidung wird diese Technologie zukünftig wohl nur bei großen Emissionsquellen wie zum Beispiel thermischen Kraftwerken beziehungsweise industriellen Anlagen zum Einsatz kommen. Eine neue lit. b in Ziffer 4 regelt nun die UVP-Pflicht für CO<sub>2</sub>-Abscheideanlagen in thermischen Kraftwerken.

Der Transport von Kohlenstoffdioxidströmen in Rohrleitungen ist ab einer Länge von 40 km und einem Durchmesser von 800 mm nach Anhang I der UVP-Richtlinie zwingend einer UVP zu unterziehen. Gemäß

---

<sup>3</sup> UVP steht für Umweltverträglichkeitsprüfung.

Anhang II der UVP-Richtlinie hat der Mitgliedstaat zusätzlich für kleinere Projekte, je nach Erheblichkeit der Umweltauswirkungen, geeignete Schwellenwerte festzulegen.

Im Bundesgesetz über die Prüfung der Umweltverträglichkeit (Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz 2000 – UVP-G 2000) wird zwischen einer umfassenden Umweltverträglichkeitsprüfung (für Vorhaben in Spalte 1 von Anhang 1) und einem vereinfachten Verfahren (für Vorhaben in Spalte 2 und 3 in Anhang 1) unterschieden.

Umfassende Umweltverträglichkeitsprüfungen sind mit Bezug auf CCUS für folgende Vorhaben geregelt:

#### **Z 4: Energiewirtschaft**

- Thermische Kraftwerke oder andere Feuerungsanlagen mit einer Brennstoffwärmeleistung von mindestens 200 MW
- Anlagen für die Abscheidung von Kohlenstoffdioxidströmen zum Zweck der geologischen Speicherung aus Anlagen gemäß oberem Punkt oder Anlagen mit einer jährlichen Kohlenstoffdioxidabscheidung von insgesamt mindestens 1,5 Millionen Tonnen

#### **Z 13: Infrastrukturprojekte**

Rohrleitungen für den Transport von Kohlenstoffdioxidströmen für die Zwecke der geologischen Speicherung mit einem Innendurchmesser von mindestens 300 mm und einer Länge von mindestens 40 km

#### **Z 29a: Infrastrukturprojekte**

Speicherstätten zur geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid, sofern sie nicht vom Bundesgesetz über das Verbot der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid, BGBl. I Nr. 144/2011, verboten sind. Ausgenommen sind Speicherstätten mit einem geplanten Gesamtspeichervolumen von weniger als 100.000 Tonnen zu Forschungszwecken oder zur Entwicklung oder Erprobung neuer Produkte und Verfahren.

Vereinfachte Verfahren sind für folgende Vorhaben geregelt:

#### **Z 89: Infrastrukturprojekte (Spalte 2)**

Anlagen für die Abscheidung von Kohlenstoffdioxidströmen zum Zwecke der geologischen Speicherung aus Industrieanlagen, soweit nicht unter Z 4 erfasst, mit einer jährlichen Kohlenstoffdioxidabscheidung von insgesamt mindestens 750 000 Tonnen.

#### **Z 13: Infrastrukturanlagen (Spalte 3)**

Rohrleitungen in schutzwürdigen Gebieten der Kategorien A oder C für den Transport von Kohlenstoffdioxidströmen für die Zwecke der geologischen Speicherung mit einem Innendurchmesser von mindestens 150 mm und einer Länge von mindestens 25 km.

Weitere Ausführungen bezüglich UVP-Verfahren finden sich in (Bundesministerium für Klimaschutz, 2021).

Generell kann somit festgehalten werden, dass die Punkte CO<sub>2</sub>-Abscheidung und CO<sub>2</sub>-Transport für die geologische Speicherung im UVP-Gesetz grundsätzlich ausreichend geregelt sind. Allerdings ist juristisch zu bewerten, ob damit auch Vorhaben der CO<sub>2</sub>-Verwendung, bei denen ebenfalls CO<sub>2</sub> abgeschieden und transportiert werden muss, ausreichend geregelt ist.

# 5 Identifizierung österreichischer Sektoren und Unternehmen

In Österreich sind traditionell einige wenige Quellen für große Mengen an CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich. Dieses Kapitel beschränkt sich daher auf die größten Quellen und Sektoren. Zunächst werden die Quellen mit Prozessemissionen näher betrachtet, in weiterer Folge Quellen mit energiebedingten Emissionen. Zusätzlich ist einzuschätzen, wie sich diese Emissionen in Zukunft entwickeln werden beziehungsweise ob alternative Herstellungsverfahren zu Verfügung stehen, bei denen keine oder geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen anfallen.

Im Anschluss werden in diesem Kapitel die Beiträge österreichischer Stakeholder beim am 2. März 2022 organisierten Workshop „Carbon capture and utilisation (CCU) in Austria - CCU-Technologien als zukünftige Klimaschutzmaßnahme in Österreich?“ dargestellt.

## 5.1 CO<sub>2</sub>-Quellen und Sektoren

Von den gesamten in der Treibhausgas-Inventur erfassten 79,8 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente des Jahres 2019 machen die im Emissionshandel erfassten Treibhausgase 29,6 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente aus. Im Emissionshandel derzeit nicht erfasst sind unter anderem der Sektor Verkehr mit 24 Millionen Tonnen, Gebäude und Landwirtschaft (jeweils 8,1 Millionen Tonnen) und Abfallwirtschaft mit 2,3 Millionen Tonnen. (Umweltbundesamt, 2021)

Dem Emissionshandel unterliegen daher Industrieunternehmen und Energieversorgungsanlagen. Die fünf größten Emittenten sind die Voest Alpine Stahl Linz, die Sinteranlagen und Hochöfen der Stahl Donawitz, die Raffinerie Schwechat, Wien Strom Simmering Block 1 und 2 und die Borealis Agrolinz Melamine Ammoniakanlage. Sie machen gemeinsam 57 % der Emissionen aus. (Österreichische Emissionshandelsregisterstelle, 2020)

Zu den größten 20 Emissionsquellen, die 79 % der im Emissionshandel erfassten Emissionen ausmachen, gehören neben weiteren Energieerzeugungsanlagen und Anlagen der oben erwähnten Branchen vorwiegend Unternehmen aus der Branche Zement und Kalkstein. (Österreichische Emissionshandelsregisterstelle, 2020)

Das dabei erfasste CO<sub>2</sub> entsteht einerseits bei der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Energieträgern (Kohle, Erdöl, Erdgas) und andererseits als Prozessemissionen bei weiteren industriellen Prozessen. Die für Österreich besonders relevanten Prozesse sind nachstehend erläutert.

Bei der primären Eisenproduktion wird Roheisen durch Zugabe von Kohlenstoff in Form von Koks in Eisen und CO<sub>2</sub> umgewandelt. Aus dem Eisen wird dann weiter unter Sauerstoffeintrag Stahl erzeugt. Eine weitere Emissionsquelle ist die Verbrennung der Gicht (Kuppelgase zur Stromproduktion). (Hauke Herman, Felix Chr. Matthes, Uwe Athmann, 2012)

Die chemische Formel dazu lautet:  $2 \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{C} \rightarrow 4 \text{Fe} + 3 \text{CO}_2$

In Österreich läuft dieser Prozess an den Standorten Voest Alpine Stahl Linz und in den Sinteranlagen und Hochöfen der Stahl Donawitz ab. Diese beiden Standorte verursachten 2019 gemeinsam rund 11,7 Millionen Tonnen an prozess- und energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen. (Österreichische Emissionshandelsregisterstelle, 2020)

Beim Brennen des Zementklinkers fallen nicht nur energie-, sondern auch prozessbedingt CO<sub>2</sub>-Emissionen an. Kalkstein zerfällt beim Brennen zu Kalk und CO<sub>2</sub>. Der Kalk wird dann zu Zementklinker weiterverarbeitet. (Hauke Herman, Felix Chr. Matthes, Uwe Athmann, 2012)

Die chemische Formel dazu lautet:  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

2019 stießen die fünf größten Zementwerke in Österreich gemeinsam rund zwei Millionen Tonnen prozess- und energiebedingtes CO<sub>2</sub> aus. (Österreichische Emissionshandelsregisterstelle, 2020)

Selbst wenn alle Brennstoffe aus Öl, Kohle und Erdgas in diesem Sektor durch klimafreundliche Alternativen ersetzt sind und weitere umfangreiche Effizienzverbesserungen umgesetzt sind, verbleiben hier immer noch circa 44 % an CO<sub>2</sub>-Emissionen, die nicht vermieden werden können.

In **Kalkwerken** wird reiner Kalkstein ohne Zusatzstoffe eingesetzt, der Prozess ist gleich dem oben beschriebenen. Die VOEST-Alpine Stahl Linz (Kalk) Steyrling stieß 2019 rund 300.000 Tonnen CO<sub>2</sub> aus. (Österreichische Emissionshandelsregisterstelle, 2020)

Ein weiterer Sektor ist die Herstellung von **Feuerfest-Materialien**. Die beiden Standorte Veitsch Radex Breitenau und Hochfilzen des Unternehmens RHI Magnesitas stießen 2019 gemeinsam circa 350.000 Tonnen CO<sub>2</sub> aus. (Österreichische Emissionshandelsregisterstelle, 2020)

Für die **Herstellung von Ammoniak** (NH<sub>3</sub>) werden Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und Stickstoff (N<sub>2</sub>) als Zwischenprodukte benötigt. Bei der Erdgasspaltung wird aus Erdgas (CH<sub>4</sub>) und Wasserdampf (H<sub>2</sub>O-Dampf) ein Produktgas erzeugt, das reich an Kohlendioxid- (CO<sub>2</sub>) und Wasserstoff (H<sub>2</sub>) ist. (Hauke Herman, Felix Chr. Matthes, Uwe Athmann, 2012)

Die chemische Formel dazu lautet:  $\text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{H}_2 + \text{CO}_2$

In Österreich erfolgt dies am Standort Borealis Agrolinz Melamine Ammoniakanlage mit circa 900.000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen (Österreichische Emissionshandelsregisterstelle, 2020).

Die **Raffinerie Schwechat** stieß 2019 rund 2,8 Millionen Tonnen Treibhausgas-Emissionen aus (Österreichische Emissionshandelsregisterstelle, 2020). Die Nachfrage für Öl, Kohle oder Erdgas wird aber rückläufig sein. Allerdings kann die Raffinerie auch mit biogenem Feedstock betrieben werden und damit im Rahmen der CCU Nutzung bei der Herstellung von Brenn- und Kraftstoffen und Kunststoffe eine Rolle spielen.

Teilweise werden die erwähnten prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgrund von Prozessumstellungen durch den Einsatz der Wasserstoff-Route in der Stahlindustrie und durch die Anwendung von Elektrolyse zur Ammoniak-Herstellung vermieden werden können. Dennoch wird insbesondere für die Stahlindustrie und die Zementindustrie die CO<sub>2</sub>-Abscheidung weiterhin eine große Rolle spielen.

Im Bereich **energiebedingte Emissionen** sind in Österreich vor allem jene, die bei der Verbrennung von Erdgas entstehen, relevant. Die zehn größten Energieerzeugungsanlagen in Österreich stoßen gemeinsam rund fünf Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> aus (Österreichische Emissionshandelsregisterstelle, 2020). Die Sektoren in

Produktionsbereich mit dem größten Energieverbrauch sind laut Nutzenergieanalyse Österreich die Sektoren Papier, Chemie und Eisen und Stahl und Steine und Erden. Die Sektoren Papier und Druck machen 21 %, die Chemieindustrie 17 % und der Sektor Eisen und Stahl 15 % des Gasverbrauchs des produzierenden Bereichs aus (Statistik Austria, 2021). 2019 stießen die fünf größten Papierfabriken dabei gemeinsam rund 1,1 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> aus Öl, Kohle oder Erdgas aus (Österreichische Emissionshandelsregisterstelle, 2020).

Für die Erzeugung von Niedertemperaturwärme in den Sektoren Papier, Chemie und Lebensmittel wird erwartet, dass Erdgas durch Biomasse, Wärmepumpen oder auch Wasserstoff ersetzt wird. Hier ist mit keinem großen CCU Effekt zu rechnen.

Die Relevanz von CCU wird insbesondere bei industriellen Prozessen im Hochtemperaturbereich (bei über 200 °C) gesehen- Diese Prozesse kommen typischerweise in Raffinerien, in der Eisen- und Stahlerzeugung beziehungsweise in der Zementindustrie zum Einsatz. Allerdings werden hier auch Elektroöfen und die direkte H<sub>2</sub>-Verbrennung eingesetzt werden, die das Potenzial als Quelle verringern. Diese Sektoren können aber auch CCU-Produkte als Energieträger einsetzen, darunter Eisen und Nichteisenmetalle, Chemie mit Ammoniak-Herstellung und organische Chemie mit Methanol zur Kunststoffherstellung, weiters Kalk- und Feuerfest-Herstellung. (Umweltbundesamt, 2022 (noch nicht veröffentlicht))

In den bisher angeführten Emissionswerten sind nur die Treibhausgas-Emissionen aus Öl, Kohle und Erdgas enthalten. Insbesondere in der Papierindustrie und Energieerzeugungsanlagen spielen aber auch biogene Treibhausgas-Emissionen im gesamten Ausmaß von mehreren Tonnen eine große Rolle, die ebenfalls für CCU zu Verfügung stehen würden.

Die chemische Industrie ist ebenfalls ein großer Energieverbraucher, für den teilweise die oben beschriebenen Ansätze gelten, um den CO<sub>2</sub> Ausstoß zu vermeiden. Dazu gehört beispielsweise die elektrische Dampfproduktion über erneuerbaren Strom. Die chemische Industrie ist aber vor allem als mögliche Senke von CO<sub>2</sub> interessant.

In der chemischen Industrie sind neben Chlor die wichtigsten Grundstoffe (Andreas Windsbergerer, Michael Schick, Bernhard Windsberger, 2018):

- Ammoniak und Harnstoff für Dünger und Kunststoffe
- Methanol für Synthesen
- Olefine (Ethylen, Propylen) als zentrale Grundstoffe für Kunststoffe und viele andere Produkte

CO<sub>2</sub>-Senken sind insbesondere die Methanolsynthese aus Wasserstoff und CO<sub>2</sub> und die Olefinproduktion direkt aus Wasserstoff und CO<sub>2</sub>. Letztere ist aber technisch noch nicht verfügbar.

In einer Studie werden je nach Szenario, (ausgenommen ist ein Business as Usual Szenario) neben Biomasse zwischen einer und fünf Millionen Tonnen an CO<sub>2</sub> als Kohlenstoffquelle benötigt. Der dazu erforderliche Strombedarf aus erneuerbaren Energieträgern für den Prozess der CO<sub>2</sub> Nutzung im MTO Prozess (Methanol to Olefines) ist aber sehr hoch und liegt bei circa 6 TWh im Intermediate Szenario und bis über 30 TWh im Maximum Szenario. (Andreas Windsbergerer, Michael Schick, Bernhard Windsberger, 2018)

## 5.2 Bisher identifizierte Österreichische Unternehmen und Institutionen

Neben den erwähnten Unternehmen, die vor allem aufgrund der CO<sub>2</sub> Vermeidung an Ihren Standorten Interesse an diesem Thema haben, gibt es weitere Unternehmen und Organisationen, die sich mit CCU beschäftigen. In der folgenden Tabelle sind die bisher im Projekt identifizierten Unternehmen, Organisationen und Forschungsakteure angeführt, die sich mit dem breiten Feld von CCU und CCS beschäftigen.

Tabelle 5: Übersicht über Unternehmen in Österreich, die sich aktiv mit CCU beschäftigen

Sektor oder Branche	Unternehmen
Kunststoffherzeugung	Borealis
Raffinerie	OMV - Raffinerie Schwechat
Eisen und Stahlerzeugung	VOEST
Zementindustrie	Lafarge
Feuerfestmaterialien	RHI Magnesita
Weitere Feuerfeststoffe	Styromag
Energieversorger	Verbund EVN TIWAG Wien Energie
Maschinenbau	Andritz
Abfallverbrennung	Wien Energie
Energie- Gasspeicher	RAG Austria
Zuckerherstellung	AGRANA
Industriegasunternehmen	Linde Gas

Folgende Universitäten und außeruniversitäre Forschungsinstitutionen wurden im Rahmen des Projekts identifiziert, die sich aktiv mit CCU beschäftigen:

- Austrian Centre of Industrial Biotechnology (ACIB)
- Austrian Institute of Technology, Center Energy, Competence Unit Energy Conversion and Hydrogen (AIT)
- Best Research EU Team
- BioBASE GmbH
- BOKU Wien
- ACIB Spinn-Off: Econutri
- Johannes Kepler Universität Linz
- Institut für Industrielle Ökologie
- Kleinkraft
- Montanuni Leoben

- Oxford Antibiotic Group GmbH
- Technische Universität Graz
- Technische Universität Wien
- Wasserstoffinitiative Vorzeigeregion Austria Power & Gas (WIVA)

Folgende nationale Institutionen zur Forschungsförderung fördern Projekte im Bereich CCU:

- Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG)
- Klimafonds

Weiters beschäftigen sich unter anderem folgende Institutionen mit diesem Thema:

- Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
- Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus
- Climate Change Centre Austria
- Österreichische Energieagentur
- TÜV Nord Austria
- Umweltbundesamt

### 5.3 Stakeholder Workshop

Im Rahmen des Projekts organisierte die Österreichische Energieagentur am 2. März 2022 das Stakeholder-Treffen „Carbon capture and utilisation (CCU) in Austria - CCU-Technologien als zukünftige Klimaschutzmaßnahme in Österreich?“. Im Rahmen des Workshops diskutierten österreichische Stakeholder:innen über den Stand der Technik von CCU-Technologien als Klimaschutztechnologie und stellten österreichische Projekte vor. Das Ziel war, die Interessenslagen österreichischer Industriebetriebe hinsichtlich F&E- beziehungsweise Infrastrukturbedarf abzuklären. Dabei nahmen 26 Personen aus diesen Branchen teil: Stahlindustrie (VOEST), Grundstoff- und Chemieindustrie (OMV, Boralis), Zementindustrie (VÖZ), Feuerfeststoffe (RHI Magnesita, Sytoromag), Lebensmittelindustrie (AGRANA), Energieversorgung (Verbund), Energiespeicherung (RAG), Abfallwirtschaft (Wien Energie), Forschung (Montantuniversität Leoben, WIFA) und öffentliche Stakeholder (Umweltbundesamt, BMK und AEA).

Tabelle 6: Agenda des Stakeholder-Treffens „Carbon capture and utilisation (CCU) in Austria - CCU-Technologien als zukünftige Klimaschutzmaßnahme in Österreich?“ am 2. März 2022

Uhrzeit	Thema
13:00 bis 13:10	Begrüßung und Moderation Günter Simader, Österreichische Energieagentur
13:10 bis 13:20	Begrüßung und Intention de Meetings DI Theodor Zillner, Bundesministerium für Klimaschutz (BMK)
13:20 bis 13:40	Übersicht über den Stand der Technik von CCU-Technologien Günter Simader, /Franz Zach/ Konstantin Kulterer, Österreichische Energieagentur
13:40 bis 13:55	CCU als Klimaschutzmaßnahme aus Sicht des UBAs

Uhrzeit	Thema
	Katharina Fallmann/Christian Heller/Ilse Schindler, Umweltbundesamt
13:55 bis 14:20	Carbon2ProductAustria (C2PAT) – CCU as key for carbon neutrality Wolfgang Haider, Borealis Polyolefine GmbH/Sorin Ivanovici, OMV
14:20 bis 14:45	Herausforderungen bei der Dekarbonisierung der thermischen Abfallverwertung Lukas Hammerer/Stefan Penthor, Wien Energie
14:45 bis 15:00	Pause
15:00 bis 15:25	CCU aus Sicht der energieintensiven Industrie Thomas Bürgler, VOEST Alpine
15:25 bis 15:45	Die Dekarbonisierungsroadmap der österreichischen Zementindustrie – Fokus: CCU Sebastian Spaun, VÖZ
15:45 bis 16:15	Programm zur Dekarbonisierung der RHI Magnesita – Fokus CCU Andreas Drescher, RHI Magnesita
16:15 bis 17:00	Allgemeine Diskussion

DI Theodor Zillner vom BMK definierte am Beginn der Veranstaltung die Erhebung des Forschungs- und Technologieentwicklungsbedarfs der österreichischen Industrie im Bereich CCU als Hauptziel der Veranstaltung. Dazu erstellt die Österreichische Energieagentur die vorliegende Studie, die relevante Erkenntnisse aus dem IEA TCP Greenhouse Gas zusammenfasst und diese für Österreichische Stakeholder aufbereitet.

Dr. Günter Simader und Dr. Franz Zach von der Österreichischen Energieagentur präsentierten den Stand der Technik, die Kosten und die Herausforderungen in den Bereichen Sequestrierung beziehungsweise Abscheidung, Lagerung und Nutzung von CO<sub>2</sub>. Außerdem umfasste die Präsentation eine Darstellung der Europäischen und internationalen Zusammenarbeit. Diese Themen werden im vorliegenden Bericht in den jeweiligen Kapiteln dargestellt.

**Christian Hellner vom Umweltbundesamt** erläuterte die **CCU als Klimaschutzmaßnahme** aus Sicht des UBA. Zunächst behandelte er die Rolle von CCU und CCS in den Dekarbonisierungsszenarien der Europäischen Kommission bis 2050. Für die gesamte EU sollen zwischen 300 Millionen und 550 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> abgeschieden, davon zwischen 80 Millionen Tonnen und 300 Millionen Tonnen gelagert werden. Circa 50 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> soll in Materialien gespeichert und circa 200 Millionen Tonnen in sogenannten Feedstocks für synthetische Treibstoffe umgewandelt werden. CCU ist jedenfalls eine förderungswürdige Technologie. In der aktualisierten ETS Verordnung der EU bleibt CCU weiterhin berichtspflichtig. Wann CO<sub>2</sub>-Emissionen, die weiter genutzt werden, als permanent gespeichert angesehen werden, soll erst in Zukunft über Verordnungen geregelt werden. Bis 2030 ist geplant fünf Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> abzuscheiden und zu lagern (CCS).

Die Präsentation ging auf die unterschiedlichen Nutzungsarten (energetisch, stofflich organisch und stofflich anorganisch) ein und gab eine qualitative Einschätzung der Treibhausgaswirkungen. Die Bewertung der Treibhausgaswirkungen muss aber jedenfalls individuell erfolgen. Einflussfaktoren sind dabei unter anderem:

- Die Kohlenstoffintensität des Stromsektors: Zur Abscheidung von einer Million Tonnen CO<sub>2</sub> benötigt man rund 10 TWh Strom, also circa ein Siebtel des gesamten Stromverbrauchs in Österreich.
- Die Kohlenstoffintensität der Referenztechnologie, die sich über die Zeit ändert.
- Auf gesamtgesellschaftlicher Ebene müsste auch bewertet werden, welche Alternativen es zu diesem Produkt gibt und wieviel von diesem Produkt benötigt werden.

Die Schätzungen derzeitiger Kosten für CCU bewegen sich um mehrere 100 EUR/t, die Kosten über die Wasserstoffroute sind sehr hoch wobei die Kosten für die Elektrolyse sehr relevant sind. Solange Alternativen billiger sind, wird CCU nicht genutzt werden.

Darüber hinaus beleuchtet der Vortrag die mögliche Rolle von CCU für die Österreichische Industrie je nach Quelle und Anwendung in den Bereichen: Nieder- und Hochtemperatur, Prozessemissionen (organisch und anorganisch). CCU kann vor allem in der Zementindustrie für eine Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen genutzt werden. CCU ist jedenfalls individuell zu bewerten und kontraproduktiv solange der Stromsektor noch mit Öl, Kohle oder Erdgas versorgt wird.

Zusammenfassend wurde betont, dass CCU für bestimmte Branchen eine Rolle spielen wird und in Kombination mit Biomassenutzung zu negativen Emissionen führen könnte. Langlebige CCU-Produkte sind jedenfalls zu bevorzugen.

**Wolfgang Haider von Borealis** und **Soran Ivonovicy von der OMV** erläuterten in ihrem Vortrag **Carbon2ProductAustria (C2PAT) – CCU as key for carbon neutrality das Projekt C2PAT**. Das Projekt der Unternehmen Lafarge, Verbund, OMV und Borealis hat den Anspruch den Kohlenstoffkreis zu schließen;

Dazu soll CO<sub>2</sub> aus dem Zementwerk in Mannersdorf abgeschieden werden: 10.000 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr mit der Demoanlage, 700.000 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr in der nächsten Stufe:

Durch Nutzung von grünem Wasserstoff (H<sub>2</sub>), der mittels Strom aus einer Photovoltaik-Anlage erzeugt wird, wird das CO<sub>2</sub> umgewandelt

- in Ausgangsmaterialien für Chemikalien auf erneuerbarer Basis und
- in Kunststoffprodukte.

Ein Anlagencluster, bestehend aus

- einer Kohlenstoffabscheidungsanlage,
- einer Wasserelektrolyse zur Erzeugung von grünem Wasserstoff und
- einer neuen Syntheseroute über die umgekehrte Wassergas-Shift-Reaktion und der Fischer-Tropsch-Synthese

befindet sich auf dem Gelände des Zementwerks von Lafarge in Mannersdorf. Die Zwischenprodukte werden an den Standorten von OMV und Borealis zu Olefinen und schließlich zu Kunststoffen auf Basis erneuerbarer Rohstoffe verarbeitet.

## Sektorübergreifende Wertschöpfungskette für Klimaneutralität

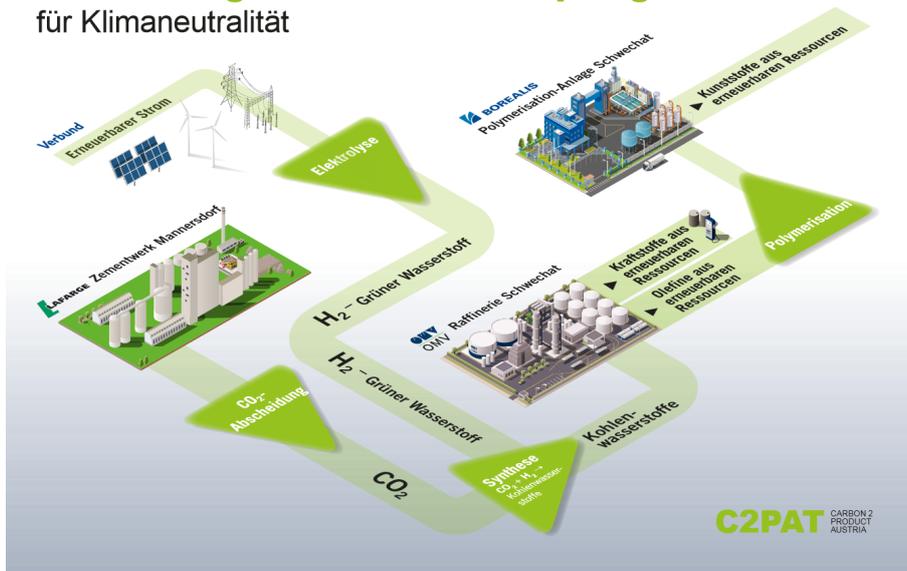


Abbildung 12: Sektor übergreifende Wertschöpfungskette im Rahmen des Projektes C2PAT

Quelle: (Lafarge Perlmöser GmbH, 2020)

Ziel ist die Ausarbeitung von innovativen Betriebs- und Geschäftsmodellen, um ein Scale-up-Konzept für die Kohlenstoff-Wertschöpfungskette zu entwickeln.

C2PAT demonstriert auch einen Ansatz der Kreislaufwirtschaft im Zement- und Chemiesektor, da Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen in verschiedenen Recycling-Strömen wiederverwendet und recycelt werden können. C2PAT wird das Marktpotenzial für Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen erforschen und Modelle für die Steuerung sowie für die ganzheitliche Optimierung der gesamten Wertschöpfungskette entwickeln. C2PAT zielt darauf ab, eine neuartige, Sektor übergreifende Kohlenstoff-Wertschöpfungskette im industriellen Maßstab zu demonstrieren. (aus der Projektbeschreibung Carbon2Product Austria (C2PAT))

Als wissenschaftliche Partner beteiligen sich der Lehrstuhl für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes, WU, Universität Wien. Weitere internationale Unternehmen sind als Partner im Gespräch oder bereits fixiert.

Zu den Forschungsfragestellungen gehören:

- Entwicklung Elektrolyse im Megawatt-Bereich
- Entwicklung des Reaktors für die umgekehrte Wassergas-Shift-Reaktion
- Untersuchung der unterschiedlichen Routen von CO<sub>2</sub> zu Polymeren und Treibstoffen, auch im Vergleich zu Feedstock, aufbauend auf biogenen Einsatzstoffen in Hinsicht auf die Fragestellungen: Was ist ökonomisch und ökologisch der sinnvollste Weg? Wie kann der CO<sub>2</sub>-Footprint reduziert werden?

Als Maßnahmen, um diese Projekte umsetzen zu können, werden folgende Punkte genannt:

- Regulatorische Stabilität
- Schaffung eines Marktes für Produkte, die auf natürlichen Energieträgern basieren
  - Regulatorische Anreize, um die Marktnachfrage zu schaffen (Normen, Öffentliche Beschaffung et cetera)
  - Förderung für die Entwicklung des Up-Scaling von breakthrough-Technologien (inklusive Demoanlagen)
- Zugang zu Erneuerbarer Energie: Beschleunigung des Genehmigungsverfahrens und der Schaffung von Wettbewerbsfähigkeit
- Aufbau der Infrastruktur für Transport und Lagerung

Lukas Hammerer und Stefan Penthor erläuterten in ihrem Vortrag die **Herausforderungen bei der Dekarbonisierung der thermischen Abfallverwertung** und fassten einige Ergebnisse der Dekarbonisierungsstudie der Wien Energie (Wärme & Kälte, Mobilität, Strom: Szenarien für die Dekarbonisierung des Wiener Energiesystems bis 2040) zusammen.

Während im Kraftwerksbereich auf verstärkte Biomassenutzung und auch in der Mobilität auf Elektrifizierung gesetzt werden wird, ist es in der Abfallverbrennung geplant bis zum Jahr 2035 250 kt CO<sub>2</sub> und bis zum Jahr 2040 500 kt CO<sub>2</sub> abzuscheiden.

Als Herausforderungen für CCU wurden für Wien Energie folgende Punkte angeführt:

- Hoher direkter und indirekter Energiebedarf durch die Aminwäsche: 1 MWh<sub>el</sub> pro Tonne CO<sub>2</sub>, zusätzlich besteht noch der Energiebedarf für die Kompression durch den CO<sub>2</sub>-Kompressor; außerdem führt die Abscheidung zu einer Reduktion des Heizwerts um 30 %.
- Komplexität der thermischen Einbindung von Carbon Capture in Erzeugung und Verteilung
- Erhöhter Platzbedarf vor allem für die Nebenanlagen wie Verdichter und Kühlung
- Für die CO<sub>2</sub> Nutzung ist die Infrastruktur und dann die Marktentwicklung relevant, das Angebot übersteigt die Nachfrage um ein Vielfaches.

Kurzfristige Möglichkeiten wurden bereits im Vienna Green CO<sub>2</sub> Projekt (2017 bis 2019) untersucht. Dabei wurde beim Biomassekraftwerk in Wien Simmering in einer Pilotanlage mit Solid Sorbent-Technologie auf Basis fester Amine in insgesamt 1.000 Betriebsstunden 700 kg CO<sub>2</sub> pro Tag mit einem Abscheidegrad von 96 % (Design war 90 %) abgeschieden. Bertsch war der Hersteller der Anlage. Das Abgas war CO<sub>2</sub>- und aminfrei und benötigte keine zusätzlichen Reinigungsschritte (TRL-6). Das CO<sub>2</sub> wurde in den angrenzenden Gewächshäusern zur Pflanzenproduktion verwendet.

Als langfristige erforderliche Technologieentwicklung wurde vor allem die Chemical Looping Combustion genannt: Mit kurzfristig verfügbaren Technologien nimmt der Heizwert um 30 % ab. Mit dieser Technologie beträgt diese „Energy Penalty“ nur 2 % bis 3 %.

Dazu sind Wirbelschichtanlagen im Einsatz, die zu Schlämmen aufbereiteten Siedlungsabfall verbrennen können (derzeit: TRL 4 bis 5). Es ist dazu aber eine umfangreiche Entwicklung bis zur geplanten Nutzung in den Jahren 2035 bis 2040 notwendig.

In Österreich sind alle Player aktiv, die eine Technologieentwicklung abdecken können: TU Wien und Boku Wien, Bertsch, Andritz (Anlagenbauer) und Wien Energie (als Anwender): Biomasse KWK

Im Vortrag **CCU aus Sicht der energieintensiven Industrie** stellte **Thomas Bürgler von der VOEST Alpine** Projekte der VOEST vor.

Zur Erreichung der für Österreich vorgegebenen Ziele von 100 % Erneuerbare Elektrizität bis 2030 und CO<sub>2</sub> Neutralität bis 2040 ist die Zusammenarbeit der energieintensiven Sektoren (Zement, Chemie, Energieversorgung, Stahl, und Öl- und Gasindustrie) wesentlich. CCU, also das Recycling von CO<sub>2</sub> in Kombination mit erneuerbarem Wasserstoff für die Herstellung von Kohlenwasserstoffen, spielt dabei eine zentrale Rolle.

Erneuerbare können zwar den Strombedarf in den Sommermonaten decken. Um bilanziell den gesamten Bedarf zu decken, ist aber ein weiterer Ausbau erforderlich, der zu Überschüssen im Sommer führt. CCU kann helfen, den Unterschied zwischen Last- und Erzeugungsprofilen auszugleichen: dazu wird die überschüssige Elektrizität zur Erzeugung von CH<sub>4</sub> aus Wasserstoff und CO<sub>2</sub> verwendet und dieser dann gespeichert.

Die VOEST verursacht 15 % der österreichischen CO<sub>2</sub>-Emissionen, das Ziel für 2025 ist die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 30 % zu reduzieren. Dafür sollen kleine Hochöfen abgebaut werden und die Befeuerung neuer kleinerer Hochöfen soll schrittweise auf H<sub>2</sub> mit CCUS umgestellt werden. Der große Hochofen bleibt aber vorerst so wie er ist. Erst 2050 wird die VOEST CO<sub>2</sub>-neutral mit Hilfe von CCUS. Circa 4 GW elektrische Anschlussleistung beziehungsweise 40 TWh Elektrizität wären für die Umstellung des großen Hochofens nötig.

Derzeit gibt es **Demoprojekte für CO<sub>2</sub>-neutrale Stahlerzeugung in Linz und Texas:**

In Linz steht eine 6 MW Demonstrationsanlage für eine Proton Exchange Membrane (PEM) - Elektrolyse zur industriellen Erzeugung von grünem Wasserstoff. Ein Vorteil der PEM-Zelle ist die schnelle Reaktion auf Laständerungen. Im Projekt H<sub>2</sub> Upgrade von VOEST und Verbund wird dieser Wasserstoff aus der Elektrolyse gereinigt und verdichtet, der Abnehmer ist die Linz AG im Bereich Mobilität.

Weiters wird CO<sub>2</sub> aus dem Steam Methan Reformer von Borealis über eine Aminwäsche abgeschieden und über eine katalytische Methanisierungsanlage Methan hergestellt. Dieses kann über die RAG eingespeichert werden. In Zukunft könnte so auch das CO<sub>2</sub> der VOEST genutzt werden. Dazu gibt es bereits ein bis 2025 von WIFA gefördertes Projekt, um CO<sub>2</sub> bei der VOEST abzuscheiden und mit H<sub>2</sub> zu CH<sub>4</sub> mittels Geomethanisierung im RAG-Speicher umzuformen.

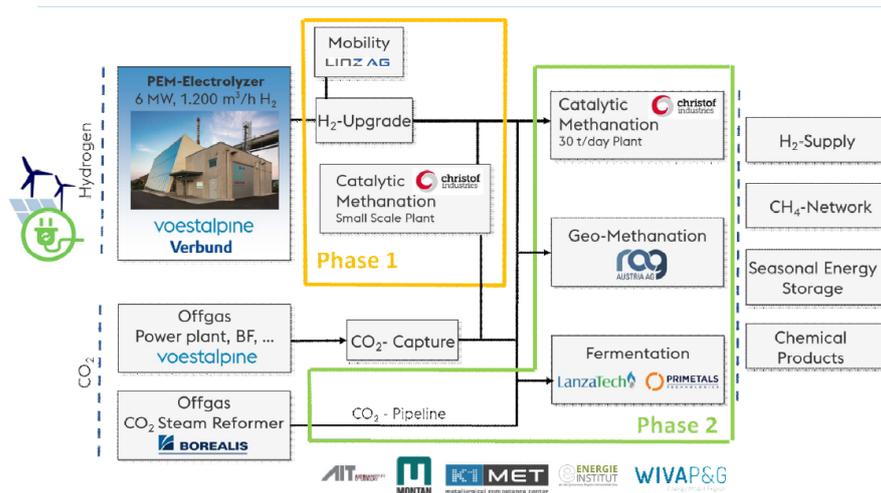


Abbildung 13 Wasserstoff- und Kohlenstoffmanagement in der energieintensiven Industrie

Quelle: (Thomas Bürgler, 2022)

Als letztes wurde noch das Projekt „Underground Sun Storage“ vorgestellt: Hier wird H<sub>2</sub> über Elektrolyse auf Basis erneuerbarer Energie erzeugt und im H<sub>2</sub>-Speicher der RAG eingelagert. Ziel ist, wie bei der PEM-Elektrolyse, einen Leistungsbereich von 100 MW zu erreichen. Phase 1 zur katalytischen Methanisierung ist gerade in Vorbereitung.

Sebastian Spaun vom VÖZ stellte die **Dekarbonisierungsroadmap der österreichischen Zementindustrie – Fokus: CCU** vor.

Generell verdoppelte sich die Herstellung von Rohstoffen wie Chemikalien, Stahl und Zement in den letzten 20 Jahren. Zement wird aus Kalkstein, Ton und Mergel hergestellt. Bei der Zementproduktion entsteht das CO<sub>2</sub> zu zwei Drittel durch Erhitzung des Kalksteins: Die Brenntemperatur beträgt 1.500 °C, dabei entweicht CO<sub>2</sub> und der Kalkstein wird entsäuert. Das gebrannte Material wird als Klinker bezeichnet.

In Österreich erfolgt die Abdeckung der thermischen Energie schon jetzt mit 78 % durch Ersatzbrennstoffe. Pro Tonne Zement werden auch 500 kg Sekundärrohstoffe verwertet. In Österreich entstehen rund 549 kg CO<sub>2</sub> pro Tonne Zement, im Vergleich zu 628 kg im EU Schnitt.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der österreichischen Zementindustrie betragen 2,85 Millionen Tonnen. Davon sind zwei Drittel der Emissionen Prozessemissionen, diese werden aber im Emissionshandel als reduzierbar eingestuft. Fast 1,5 Millionen Tonnen davon müssen durch CCUS genutzt beziehungsweise gelagert werden, wenn eine vollständige Dekarbonisierung erreicht werden soll.

Ansätze zur Reduktion der Emissionen sind die "5 Cs": Clinker, Cement, Concrete, Construction, CCUS.

Dabei ist CCUS eine sehr teure Maßnahme, daher sollte man die anderen vier Maßnahmen besonders forcieren und CCUS nur für den nicht abdeckbaren Anteil einsetzen.

Dazu gehört die Produktion von klinkerärmeren Zementsorten. Der Klinkeranteil soll von 70 % auf 52 % reduziert werden, umgekehrt wird der Anteil der Zuschlagstoffe dadurch steigen.

Durch den Ausstieg aus Öl, Kohle und Erdgas wird der Anteil biogener Brennstoffe bei Ersatzbrennstoffen steigen. Der Anteil von verbrannten Kunststoffen wird durch eine höhere Recyclingrate dieser Stoffe sinken. Durch die Nutzung neuer Energieformen wie Elektrifizierung, Wasserstoff und erneuerbares Gas steigt der Strombedarf.

Nur 10 % bis 11 % des verbauten Betons werden derzeit wiederverwertet.

## CO<sub>2</sub> Roadmap der Österreichischen Zementindustrie 2020 – 2050

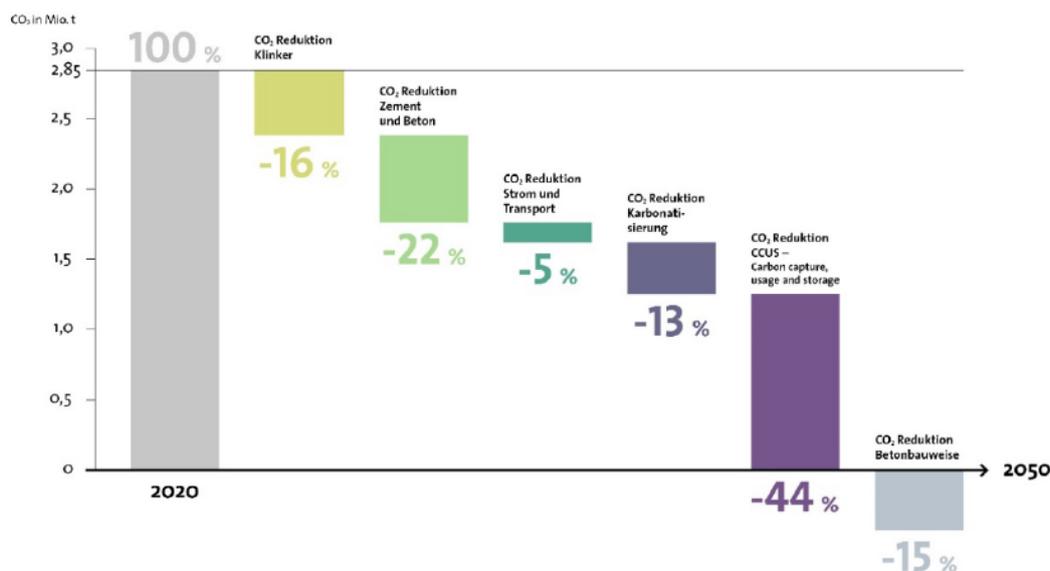


Abbildung 14 CO<sub>2</sub> Roadmap der Österreichischen Zementindustrie

Quelle: (VÖZ – Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, 2021)

Die erste CCU Pilotanlage wird 2025 bis 2026 realisiert (siehe dazu Beschreibung des C2Pat Projekt). Die Karbonatisierung von CO<sub>2</sub> ist aber anerkannt, z. B. im IPPC Bericht 2021.

Für die Zementindustrie wird eine Verdreifachung des Strombedarfs aufgrund feinerer Mahlung, Elektrifizierung des Brennprozesses und der Kohlenstoffabscheidung abgeschätzt.

Die Kohlenstoffkreislaufwirtschaft hätte folgende Schritte:

- Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus der Zementproduktion
- Umwandlung des CO<sub>2</sub> in einen Feedstock für chemische Prozess
- Produktion von auf erneuerbaren Rohstoffen basierendem Polypropylen
- Verwendung von nicht recycelbarem Kunststoffabfall im Zementwerk

Nach der CO<sub>2</sub> Reduktion in den Bereichen Klinker, Zement und Beton sowie der Nutzung erneuerbaren Stroms und Anwendung der Karbonatisierung verbleiben noch 44 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch CCUS verwendet werden müssten.

In den Nordseestaaten entwickelt sich CCS als Standortvorteil. 10 bis 20 Zementwerke könnten bis 2030 an Offshore-Lagerstätten in der Nordsee und auch im Mittelmeer angebunden werden.

Folgende Voraussetzungen sind daher wichtig:

- Schaffung eines österreichischen Transformationsfonds, der offen ist für die Technologien CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> und CCUS
- Rechts- und Planungssicherheit für große Investitionsprojekte
- Dekarbonisierung bei gleichzeitiger Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit, Stichwort: Carbon Contracts for Differences (Kommentar Autoren: bei denen die Differenz zwischen CO<sub>2</sub> Vermeidungskosten und CO<sub>2</sub> Zertifikatspreisen vom Staat ausgeglichen werden)
- Schaffung einer Infrastruktur für den Transport von CO<sub>2</sub> und Wasserstoff und die Schaffung von Märkten für klimafitte Produkte
- Entwicklung von neuen Möglichkeiten zur Verwertung und Zwischenspeicherung von CO<sub>2</sub>
- Anerkennung, Förderung und Ausbau der Karbonatisierung als dauerhafte Senke

**Andreas Drescher** stellte das **Programm zur Dekarbonisierung der RHI Magnesita mit Fokus CCU** vor.

Derzeit ist ein über die Ziele 2025 reichender Plan zur Dekarbonisierung in Ausarbeitung. Prinzipiell bestehen folgende Möglichkeiten zur Vermeidung der Scope 1 CO<sub>2</sub>-Emissionen:

Vermeidung durch Recycling und Verwendung von Rohstoffen, die nicht auf Kohlenstoff basieren und Nutzung grüner Energieträger (Wasserstoff, biogene Energieträger).

Beim Recycling besteht eine Begrenzung, da vom Feuerfestmaterial nach der Herstellung nur circa 30 % überbleibt. Als Ziel wird bis 2025 eine Recyclingquote von 10 % angestrebt. In Österreich wird für die Herstellung Magnesit oder Dolomit eingesetzt, die als Alleinstellungsmerkmal in Österreich nördlich und südlich der Alpen vorkommen. Nicht kohlenstoffhaltige Rohstoffe haben etwa die vierfachen Herstellungskosten.

Wichtige Technologien im Zusammenhang mit der Kohlenstoffabscheidung sind die Oxycombustion und die Postcombustion, also die Verbrennung mit reinem Sauerstoff und die Nachverbrennung, um den CO<sub>2</sub> Gehalt im Abgas zu beeinflussen.

Anschließend gibt es folgende Möglichkeiten:

- Speicherung (z. B. in Gasfeldern)
- Verwendung durch Umwandlung in Biofuels (z. B. Methan)
- Direkte Anwendung (Verkauf am CO<sub>2</sub> Markt)
- Remineralisierung in der Nähe der Rohstoffstandorte

Zu den Herausforderungen für CCU zählen:

- Hohe Capex- und Opex-Anforderungen
- Bereitstellung der Infrastrukturen (insbesondere Stromnetz-Kapazität)
- Verfügbarkeit von Grünstrom
- Zugang und Kapazität zu Transportmöglichkeiten auf Schienen
- Rechtliche Rahmenbedingungen
- Andere (Verbrauch von Wasser, Fläche)

Die beiden Standorte in Österreich Breitenau und Hochfilzen haben eine elektrische Anschlussleistung von 5 MW beziehungsweise 7 MW und verbrauchen 0,2 TWh Strom und 2,5 TWh Gas und Öl. Für CCU würden diese Standorte 16 TWh Strom und eine elektrische Anschlussleistung von 300 MW beziehungsweise 189 MW benötigen. Das heißt für die Methanisierung von CO<sub>2</sub> wäre die 100-fache Netzanschlussleistung erforderlich. Für die Elektrolyse könnten aufgrund der Lage in schmalen Tälern nicht so große Leitungen gelegt werden.

RHI rechnet nicht damit, dass eine Route oder Technologie für CCU auf alle ihre Standorte weltweit ausgerollt werden kann. Daher werden aktuell für jeden Standort Feasibility-Studies zu unterschiedlichen Technologien erstellt.

Unter anderem beinhalten diese Studien folgende Technologieoptionen für die Abscheidung beziehungsweise Nutzung:

- Sauerstoffangereicherte Verbrennung
- Horizontale beziehungsweise vertikale Flash-Calcining (Callix)
- Mineralisierung und Rekarbonatisierung von CO<sub>2</sub> mit Fokus auf Primärrohstoffe

Für die Verwendung und Lagerung werden unterschiedliche Technologien betrachtet. Für die CCU-Nutzung wird RHI CO<sub>2</sub> liefern, der dazu notwendige Wasserstoff wird von Partnerfirmen zu Verfügung gestellt werden.

Wasserstoff kann für RHI einerseits verwendet werden um CO<sub>2</sub> umzuwandeln, aber auch um den Brennprozess in Tunnelöfen für Fertigprodukte von Erdgas auf Wasserstoff umzustellen.

Zusammenfassend gilt für CCU:

- CCU erfordert hohen Strombedarf inklusive Netzinfrastruktur
- CO<sub>2</sub> wird in diesem Sektor vorwiegend gelagert werden, wozu neben einem ausgebauten Eisenbahnnetz auch der Zugang zu Lagerstätten in der Nordsee erforderlich sind. Dazu sind bilaterale Abkommen im Rahmen des London Protocols erforderlich.
- Die Wasserstoffversorgung der Industriestandorte ist noch unklar, die Schaffung von H<sub>2</sub>-Hubs und des entsprechenden Transportnetzes ist unbedingt erforderlich.

In der abschließenden Diskussion wurden folgende Aspekte betont:

- Der Bedarf an Infrastruktur, um CO<sub>2</sub> abscheiden und transportieren zu können, und der damit zusammenhängende hohe Strombedarf dieser Lösung, die für einige Branchen jedoch alternativlos erscheint
- Die Notwendigkeit Großprojekte zu finanzieren
- Die Langfristigkeit der Bindung von CO<sub>2</sub> im Rahmen von CCU

## 6 Zusammenfassung und Empfehlungen

Das Thema Carbon Capture and Utilization (zu Deutsch: CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Verwendung beziehungsweise Nutzung, abgekürzt CCU) hat insbesondere im Rahmen der Diskussion und der Umsetzungsaktivitäten des "Green Deals" für die Erreichung der Klimaneutralität auf europäischer Ebene neue Dynamik bekommen. Hierzu sind folgende Initiativen beziehungsweise Gesetzespakete anzuführen:

- Verordnung (EU) 2021/1119 zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität
- Mitteilung COM (2021) 800: Nachhaltige Kohlenstoffkreisläufe
- Novelle der europäischen Erneuerbaren Energien-Richtlinie

Auf internationaler Ebene haben sich die Aktivitäten ebenfalls deutlich verstärkt. Beispielhaft wurde von Seiten der IEA in den letzten Jahren eine eigene CCUS Unit eingerichtet ([iea.org/reports/about-ccus](https://www.iea.org/reports/about-ccus)), um die Entwicklungen dieses Themenfelds genau zu analysieren, beziehungsweise in den Modellen und Szenarien möglichst realistisch abzubilden (IEA, 2021). Im Zuge der internationalen Zusammenarbeit ist Österreich bereits Teil dieser Zusammenarbeit im Rahmen des IEA Greenhouse Gas R&D Technology Programmes. Eine Vertiefung der weiteren Zusammenarbeit – beispielsweise an der Entwicklung bestimmter ISO Normen – sollte anlassbezogen mit Vertretern der Industrie (für deren Projektentwicklungen) akkordiert werden (siehe dazu Kapitel 2).

Die weitere Zusammenarbeit auf europäischer Ebene wird als besonders wichtig eingestuft. Im Bericht wurde einerseits der Rechtsrahmen ausgeführt, andererseits wurden auch die Förder- und Forschungsprogramme angeführt (siehe Kapitel 2.3). Von Seiten der Unternehmen wurde moniert, dass begleitende österreichische Projekte beziehungsweise Programme die Förderwahrscheinlichkeit bei Einreichungen auf EU-Ebene deutlich erhöhen, da damit auch das nationale Commitment für diesen Technologiebereich zum Ausdruck kommt. Nachdem die EU-Kommission auch in den zentralen internationalen Gremien vertreten ist (z. B. dem CSLF) kann durch eine verstärkte Interaktion auf EU Ebene indirekt auch die internationale Zusammenarbeit weiter gestärkt werden.

Im Zuge der CCS Diskussion (Carbon Capture and Storage, zu Deutsch: CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung) standen in der Vergangenheit insbesondere drei technologische Verfahren im Vordergrund, die vorwiegend für den Einsatz in Öl-, Kohle- oder Erdgas-Kraftwerken entwickelt wurden:

- Post-Combustion-Verfahren
- Oxyfuel-Verfahren
- Pre-Combustion-Verfahren

In den letzten Jahren wurde das Technologieportfolio für die Aufkonzentrierung und Abtrennung des CO<sub>2</sub> aus den Abgasströmen stark erweitert. Die Technologie wurde ebenfalls weiterentwickelt, teilweise kann bereits auf einen sehr hohen technologischen Reifegrad (TRL 9) verwiesen werden (siehe Kapitel 3.2.4). Diese Entwicklungen tragen dazu bei, dass CCU für sehr viele industrielle Anwendungen nunmehr eingesetzt werden können. Die Kosten hängen dabei stark mit der Anlagengröße und der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Abgas (vor der Aufkonzentrierung) zusammen. Große Anlagen und eine hohe Konzentration sind dabei vorteilhaft.

Das zunehmende Interesse zeigt sich auch bei österreichischen Industrieunternehmen. Insbesondere für jene Betriebe mit hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die kurz- und mittelfristig schwer zu reduzieren sind, stellt diese Technologie eine Möglichkeit dar, zum CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel beizutragen. Im Zuge von Literaturanalysen konnten zahlreiche Pläne beziehungsweise Projekte zum Thema CCUS identifiziert werden. Das reicht von Anwendungen bei der Kunststoffherzeugung, über die Eisen- und Stahlerzeugung, die Zement- beziehungsweise Feuerfestindustrie bis hin zu Energieversorgern und der Lebensmittelindustrie (siehe Kapitel 5). In weiterer Folge wurde im Rahmen des Projekts mit ausgewählten Unternehmen der industrielle Einsatz von CCU und der hierfür erforderliche F&E- beziehungsweise Infrastrukturbedarf diskutiert. Identifiziert wurden dabei die folgenden Herausforderungen:

- CCU ist mit hohen Investitions- und Betriebsausgaben verbunden (CAPEX und OPEX).
- CCU hat einen hohen Stromeinsatz zur Folge (beispielsweise für die Aminwäsche und CO<sub>2</sub>-Kompression).
- CCU-Anlagen benötigen hohe Netzanschluss-Leistungen.
- Die Verfügbarkeit von genügend erneuerbarer Energieträger (insbesondere von Strom) wird als besonders wichtig eingestuft (damit ein Beitrag zur Klimaneutralität letztendlich geleistet werden kann).
- Es besteht hoher Platzbedarf für die Abtrennungsanlagen (dies gilt sowohl für die Hauptaggregate als auch für die Nebenanlagen wie Verdichter und für die Kühlung).
- Großer Wasser- beziehungsweise Lösemittelbedarf
- Es ist ein Zugang und es sind Kapazitäten zu Transportmöglichkeiten zu schaffen (beispielsweise Gleisanlagen, um das abgetrennte CO<sub>2</sub> abzutransportieren).
- Das Angebot von CO<sub>2</sub> übersteigt derzeit die Nachfrage um ein Vielfaches.
- Rechtliche Rahmenbedingungen werden als unklar eingestuft.

Als Maßnahmen, um Projekte umsetzen zu können, führten die Stakeholder aus der Industrie folgende Punkte an:

- Aufbau einer Infrastruktur für den Transport und die Lagerung beziehungsweise Zwischenspeicherung von CO<sub>2</sub> (aber auch von Wasserstoff)
- Schaffung eines Marktes für CCU-Produkte (die auf erneuerbaren Energieträgern und abgeschiedenem CO<sub>2</sub> basieren) inklusive von regulatorischen Anreizen, um die Marktnachfrage zu stimulieren (mittels Standards, öffentlicher Beschaffung et cetera)
- Förderung für die Entwicklung des Up-Scaling und von breakthrough Technologien (inklusive Demoanlagen)
- Zugang zu erneuerbaren Energieträgern: Beschleunigung der Genehmigungsverfahren
- Anerkennung, Förderung und Ausbau der Karbonatisierung als dauerhafte CO<sub>2</sub>-Senke
- Bilaterale Kooperationen mit Ländern mit CO<sub>2</sub>-Lagerstätten
- Schaffung eines österreichischen (Transformations-)Fonds, der offen für die Technologien CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> und CCUS ist
- Rechts- und Planungssicherheit für große Investitionsprojekte
- Dekarbonisierung bei gleichzeitiger Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit, Stichwort: Carbon Contracts for Differences<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Das sind Verträge, bei denen die Differenz zwischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten und CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreisen vom Staat ausgeglichen werden.

Von den Vertretern der Industrie wurden folgende F&E-Themen angesprochen beziehungsweise Vorschläge für zukünftige F&E-Schwerpunkte genannt:

- Entwicklung von Elektrolyse-Anlagen im (100) Megawatt-Bereich, z. B. Proton Exchange Membrane (PEM), Solid Oxide Electrolyser (SOE) – Elektrolyse zur industriellen Erzeugung von grünem Wasserstoff
- Weiterentwicklung des Verfahrens für die umgekehrte Wassergas-Shift-Reaktion
- Untersuchung der unterschiedlichen Routen von CO<sub>2</sub> zu Polymeren und Treibstoffen, auch im Vergleich zu Feedstock, basierend auf biogenen Einsatzstoffen im Hinblick auf die Fragestellungen: Was ist der ökonomisch und ökologisch sinnvollste Weg? Wie kann der CO<sub>2</sub>-Footprint reduziert werden?
- Weiterentwicklung des Chemical Looping Combustion-Verfahrens (derzeit: TRL 4 bis 5), dazu Entwicklung von Wirbelschichtanlagen
- Sauerstoffangereicherte Verbrennung (oxyfuel combustion)
- Verfahren für die Herstellung von grünem Zement (Flash-Kalzinierungstechnologien)
- Mineralisierung und Rekarbonatisierung von CO<sub>2</sub> mit Fokus auf Primärrohstoffe

Bezüglich der möglichen Umweltauswirkungen von CCUS-Anlagen sind im Normalbetrieb für die Umwelt beziehungsweise für die menschliche Gesundheit in aller Regel keine negativen Auswirkungen zu erwarten. Gesundheitsrisiken können sich aber infolge von Unfällen, bei denen das CO<sub>2</sub> entweicht, ergeben oder durch eine allmähliche Freisetzung aus dem Speicherkomplex – die geologische Speicherung von CO<sub>2</sub> ist in Österreich ohnehin verboten.

Ein unvorhergesehener Austritt von CO<sub>2</sub> ist allerdings in der gesamten CCUS-Prozesskette möglich. Eine Leckage im CO<sub>2</sub>-Transportsystem oder -Speicher würde dabei voraussichtlich größere Auswirkungen nach sich ziehen als der CO<sub>2</sub>-Austritt an einer Abscheideanlage. Details zu den Auswirkungen wurden in Kapitel 4 erarbeitet.

Generell können die Punkte CO<sub>2</sub>-Abscheidung und CO<sub>2</sub>-Transport für die geologische Speicherung im UVP-Gesetz grundsätzlich als ausreichend geregelt eingestuft werden. Allerdings ist juristisch zu bewerten, ob damit auch Vorhaben der CO<sub>2</sub>-Verwendung, bei denen ebenfalls CO<sub>2</sub> abgeschieden und transportiert werden muss, geregelt sind.

Für den CO<sub>2</sub>-Transport kommen vor allem Pipelines (CO<sub>2</sub> in überkritischem Zustand) sowie Fahrzeuge wie etwa Schiffe, Bahn oder LKW (CO<sub>2</sub> in flüssigem Zustand) in Betracht. Für niedrige Distanzen von bis zu einigen hundert Kilometern ist die Pipeline oft die kostengünstigere Alternative, für große Distanzen tendenziell der Transport auf Fahrzeugen wie Schiffen.

Für Österreich wird empfohlen, das CCU-Thema verstärkt im Kontext der europäischen und internationalen Aktivitäten als optionale Klimaschutzmaßnahme zu berücksichtigen. Folgende Punkte sollten bei einer Verankerung dieses Themenfelds in den F&E-Politiken besondere Beachtung finden:

- CCU wird für bestimmte Branchen (hard to abate Sektoren) wie der Zementindustrie eine sehr wichtige Rolle einnehmen und kann in Kombination mit Biomassenutzung sogar zu negativen Emissionen führen. Die Anwendungsbereiche für CO<sub>2</sub> aus CCU sind jedoch breit gefächert und reichen von der Herstellung von Polymeren und verschiedenen Chemikalien, über E-Fuels bis zum Einsatz in der Landwirtschaft zur Steigerung des Ertrags.
- Bezüglich der Umwelteffekte von CCU muss die Bewertung der Treibhausgaswirkungen individuell erfolgen. Wichtige Einflussfaktoren sind dabei unter anderem die Kohlenstoffintensität des Stromsektors und die

Kohlenstoffintensität der Referenztechnologie. (Solange der Stromsektor noch mit Öl, Kohle und Erdgas versorgt wird, ist CCU kontraproduktiv.)

- Die Nutzung von CCU ist aufgrund der relativ hohen Kosten abhängig von möglichen Alternativen. Prioritär sollten Maßnahmen gesetzt werden, um mit weniger Energie das Gleiche oder sogar mehr erzielen zu können und auch Energie aus Wasser, Sonne, Wind und Wald zum Einsatz kommen.
- Projekte mit möglichst langlebigen CCU-Produkten sind jedenfalls zu bevorzugen (im Falle einer Nutzungskonkurrenz).

Die Einrichtung von Begleitmaßnahmen beispielsweise in Form einer Plattform oder eines Netzwerks wird für das CCUS-Thema als sehr wichtig eingestuft ("eine hörbare Stimme für CCUS in Österreich"). Durch dieses strukturelle Element wird der regelmäßige Informationsaustausch beziehungsweise anderweitige Formate (Workshops, Netzwerktreffen et cetera) verstärkt. Damit können – spezifisch für Österreich relevante – F&E-Fragestellungen weiter präzisiert, ineffektive CCU-Pfade vermieden, generell das Know-How im CCU-Bereich für relevante österreichische Entwicklungen gestärkt und die Position des CCU-Themas in Österreich faktenbasiert forciert werden.

## 7 Literaturverzeichnis

Andreas Windsberger. (2021). *CCU Potenziale und Nutzungswege, Carbon Capture and Utilization*, Vortrag beim CCU Workshop an der TU Wien.

Andreas Windsbergerer, Michael Schick, Bernhard Windsberger. (2018). *Perspektiven der Dekarbonisierung für die chemische Industrie in Österreich*. St. Pölten: Institut für Industrielle Ökologie.

AVR Duiven. (2022). Von <https://www.avr.nl/en/co2-installation/first-tons-of-co2-captured-from-residual-waste-supplied-to-greenhouse-horticulture/> abgerufen

Basile A., M. P. (2019). *Science Direct - Post-Combustion Capture*. Von <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/post-combustion-capture> abgerufen

Biobase GmbH. (o.J.). *Fact Sheet Nr. 1, Carbon Capture and Utilization*. St. Pölten.

Bundesministerium für Klimaschutz. (2021). *8. UVP-Bericht an den Nationalrat*. Wien.

CCU Lighthouse Carboneras. (2022). Von <https://www.carbonclean.com/media-center/news/lafargeholcim-and-carbon-clean-to-develop-large-scale-ccus-plant> abgerufen

DENA. (2021). *Das Potenzial strombasierter Kraftstoffe für einen klimaneutralen Verkehr in der EU*. Berlin.

enArgus - CO<sub>2</sub>-Abscheidung. (2022). Von CO<sub>2</sub>-Abscheidung: [https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d1883-2/\\*/\\*/\\*CO2-Abscheidung.html?op=Wiki.getwiki](https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d1883-2/*/*/*CO2-Abscheidung.html?op=Wiki.getwiki) abgerufen

Energy Technology Perspectives. (2020). *Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage*. IEA.

Environment Agency (UK). (2011). *Scoping the environmental impacts of carbon capture, transport and storage*.

Europäische Kommission. (2020). *Mehr Ehrgeiz für das Klimaziel Europas bis 2030 (COM(2020) 562 fin)*. Brüssel.

Europäische Kommission. (2019). *Ein sauberer Planet für alle - Eine Europäische strategische, langfristige Vision für eine wohlhabende, moderne, wettbewerbsfähige und klimaneutrale Wirtschaft (COM(2018) 773 final/2)*. Brüssel.

Europäische Union. (2009). *Richtlinie 2009/31/EG über die geologische Speicherung von Kohlendioxid*. Brüssel.

Figueroa, J. F. (Januar 2008). Advances in CO<sub>2</sub> capture technology—The U.S. Department of Energy's Carbon Sequestration Program. *International Journal of Greenhouse Gas Control*.

FLITE. (2022). Von <https://belgium.arcelormittal.com/en/arcelormittal-and-lanzatech-break-ground-on-e150million-project-to-revolutionise-blast-furnace-carbon-emissions-capture/> abgerufen

Forschungszentrum Jülich. (2022). *enArgus*. Von [https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d11473-2/\\*/\\*Sicherheit%20CO<sub>2</sub>-Transport.html?op=Wiki.getwiki&search=pipeline&scope=all](https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d11473-2/*/*Sicherheit%20CO2-Transport.html?op=Wiki.getwiki&search=pipeline&scope=all) abgerufen

Geertje Dautzenberg, Thomas Bruhn. (2013). *Environmental Impacts of Carbon Capture Technologies. An overview of the state of development, potential side effects and current challenges for science and society. - IASS Working Paper*. Potsdam.

Global CCS Institute. (2012). Von Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) Distribution Infrastructure: <https://www.globalccsinstitute.com/archive/hub/publications/44156/carbon-dioxide-distribution-infrastructure.pdf> abgerufen

Global CCS Institute. (2021). *Technology Readiness and Costs of CCS*. Global CCS Institute.

Hauke Herman, Felix Chr. Matthes, Uwe Athmann. (2012). *Potenziale und Chancen der Technologie zur CO<sub>2</sub>-Abtrennung und –Ablagerung (CCS) für industrielle Prozessemissionen*. Öko-Institut.

Horizon 2020. (2014). [https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014\\_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf).

IEA. (2021). *CCUS in Industry and Transformation*. Von CCUS in Industry and Transformation: <https://www.iea.org/reports/ccus-in-industry-and-transformation> abgerufen

IEAGHG. (2018). *Greenhouse Gas Emissions Accounting for Carbon Dioxide Capture and Utilisation (CCU) Technologies - Characterising CCU Technologies, Policy Support, Regulation and Emissions Accounting*. IEA Greenhouse Gas R&D Programme.

IEAGHG. (2021). *CO<sub>2</sub> as a Feedstock: Comparison of CCU Pathways*. IEA Greenhouse Gas R&D Programme.

ISO. (2016). ISO 27913:2016 Carbon dioxide capture, transportation and geological storage - Pipeline transportation systems.

Lafarge Perlmooser GmbH. (24. Juni 2020). *Carbon2ProductAustria, Prozessgrafik Deutsch*. Abgerufen am 7. April 2022 von <https://www.lafarge.at/nachhaltigkeit/c2pat>

Norsk E-Fuel. (2022). Von <https://www.norsk-e-fuel.com/technology> abgerufen

North-CCU-Hub. (2022). Von <https://northccuhub.eu/north-c-methanol/> abgerufen

- Österreichische Emissionshandelsregisterstelle. (2020). *Stand der Einhaltung für Anlagen für das Jahr 2019 im österreichischen Teil des Unionsregisters*. Wien.
- Pembina Institute. (2015). <https://www.globalccsinstitute.com/news-media/insights/ccus-building-a-climate-change-solution/>.
- Power to Methanol Antwerp*. (2022). Von <https://powertomethanolantwerp.com/news> abgerufen
- Project AIR*. (2022). Von [https://www.perstorp.com/en/about/sustainability/sustainable\\_innovation/project\\_air](https://www.perstorp.com/en/about/sustainability/sustainable_innovation/project_air) abgerufen
- Scot Project*. (2022). Von <http://database.scotproject.org/projects> abgerufen
- Simon S., A. D. (2020). *Review of Constructability and Operational Challenges faced by CCUS Projects*. IEA Greenhouse Gas R&D Programme.
- Statistik Austria. (2021). *Nutzenergiekategorien Österreich 1993-2020, Detailinformationen*. Wien.
- Thomas Bürgler. (2022). *CCU aus Sicht der energieintensiven Industrie, Vortrag im Rahmen des Stakeholderworkshops am 2.3.2022*. Linz: VOEST Alpine.
- Twence*. (2022). Von <https://www.avr.nl/en/co2-installation/first-tons-of-co2-captured-from-residual-waste-supplied-to-greenhouse-horticulture/> abgerufen
- Umweltbundesamt. (2021). *Klimaschutzbericht 2021*. Wien.
- Umweltbundesamt. (2022 (noch nicht veröffentlicht)). *Überblick CCS und CCU - Potenzial im Lichte der Klimaneutralität bis 2040*. Wien.
- VÖZ – Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie. (2021). *CO2 Roadmap der österreichischen Zementindustrie in Kurzfassung der Beiträge Kolloquium Forschung & Entwicklung für Zement und Beton*.
- Westküste 100*. (2022). Von <https://www.westkueste100.de/#ProjektHome> abgerufen
- Zero Emissions Platform*. (2022). Von <https://zeroemissionsplatform.eu/about-ccs-ccu/css-ccu-projects/> abgerufen



## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Potentielle CO <sub>2</sub> -Abscheidequellen und Nutzungspfade .....	6
Abbildung 2: Verlaufskurve der THG-Emissionen bei einem Temperaturanstieg von 1,5 °C; die Balken (rechts) stellen die nach Szenarios 7 und 8 im Jahr 2050 emittierten und absorbierten Treibhaus-Gasmengen dar. ....	11
Abbildung 3: Darstellung möglicher Pfade zum Umgang mit abgeschiedenem CO <sub>2</sub> .....	14
Abbildung 4: Prinzip des Post-Combustion-Verfahrens.....	15
Abbildung 5: Prinzip des Oxyfuel-Verfahrens .....	16
Abbildung 6: Prinzip des Pre-Combustion-Verfahrens .....	17
Abbildung 7: Abhängigkeit der Kosten für CO <sub>2</sub> -Abscheidung von der Größe des Projektes und der CO <sub>2</sub> -Konzentration.....	21
Abbildung 8: TRL der CO <sub>2</sub> -Transportoptionen .....	22
Abbildung 9: Kosten des CO <sub>2</sub> -Transports in einer Pipeline in Abhängigkeit des Durchflusses und der Lage der Pipeline (an Land oder offshore), .....	24
Abbildung 10: Kosten für Komprimierung und Trocknung, Pipeline-Transport und Schifftransport (inklusive Verflüssigung) für CO <sub>2</sub> an der US-Golfküste im Jahr 2020 in US-Dollar .....	25
Abbildung 11: Technologische Optionen zur Nutzung von abgeschiedenem CO <sub>2</sub> (CCU) mit Darstellung des Effektes auf den globalen CO <sub>2</sub> -Haushalt (rechter Teil).....	26
Abbildung 12: Sektor übergreifende Wertschöpfungskette im Rahmen des Projektes C2PAT.....	40
Abbildung 13 Wasserstoff- und Kohlenstoffmanagement in der energieintensiven Industrie .....	43
Abbildung 14 CO <sub>2</sub> Roadmap der Österreichischen Zementindustrie.....	44



## 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Veröffentlichte und in Arbeit [i. A.] befindliche Normen (ISO), technisch Berichte (ISO/TR) zu CCUS .....	9
Tabelle 2: Technologien zur Aufkonzentration des CO <sub>2</sub> und deren technologische Reife .....	17
Tabelle 3: Definition der Technology Readiness Levels (TRLs).....	18
Tabelle 4: Kurzbeschreibung der neun europäischen CCU-Projekte .....	27
Tabelle 5: Übersicht über Unternehmen in Österreich, die sich aktiv mit CCU beschäftigen .....	36
Tabelle 6: Agenda des Stakeholder-Treffens „Carbon capture and utilisation (CCU) in Austria - CCU-Technologien als zukünftige Klimaschutzmaßnahme in Österreich?“ am 2. März 2022.....	37



### Über die Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency (AEA)

Die Österreichische Energieagentur liefert Antworten für die klimaneutrale Zukunft: Ziel ist es, unser Leben und Wirtschaften so auszurichten, dass kein Einfluss mehr auf unser Klima gegeben ist. Neue Technologien, Effizienz sowie die Nutzung von natürlichen Ressourcen wie Sonne, Wasser, Wind und Wald stehen im Mittelpunkt der Lösungen. Dadurch wird für uns und unsere Kinder das Leben in einer intakten Umwelt gesichert und die ökologische Vielfalt erhalten, ohne dabei von Kohle, Öl, Erdgas oder Atomkraft abhängig zu sein. Das ist die missionzero der Österreichischen Energieagentur.

Mehr als 85 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus vielfältigen Fachrichtungen beraten auf wissenschaftlicher Basis Politik, Wirtschaft, Verwaltung sowie internationale Organisationen. Sie unterstützen diese beim Umbau des Energiesystems sowie bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Bewältigung der Klimakrise.

Die Österreichische Energieagentur setzt zudem im Auftrag des Bundes die Klimaschutzinitiative **klimaaktiv** um.

Der Bund, alle Bundesländer, bedeutende Unternehmen der Energiewirtschaft und der Transportbranche, Interessenverbände sowie wissenschaftliche Organisationen sind Mitglieder dieser Agentur. Weitere Informationen für Interessenten unter [www.energyagency.at](http://www.energyagency.at).

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)