

 Bundesministerium  
Finanzen

# Evaluierungsbericht der Bundesregierung

zum Bundesgesetz über das Verbot der geologischen Speicherung von  
Kohlenstoffdioxid

72/73

71/79

## Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Finanzen, Johannesgasse 5, 1010 Wien

Autorinnen und Autoren: Dr. Jürgen Gusterhuber, Abt. VI/6 Bergbau Technik – und Sicherheit; Mag. Georg Abdank, Abt. VI/4 Bergbau – Rechtsangelegenheiten

Fotonachweis: BMF/Magdalena Pupp (S. 1)

Druckerei des BMF

WIEN, 2023. Stand: 8. August 2024

### Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums für Finanzen und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an  
[Post.VI-6@bmf.gv.at](mailto:Post.VI-6@bmf.gv.at).

# Inhalt

<b>Impressum .....</b>	<b>2</b>
<b>Inhalt .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>4</b>
1.1 Klimapolitische Relevanz von CCS .....	4
1.2 Geologische Speicherung von CO <sub>2</sub> .....	7
1.3 Geologische Speichermöglichkeiten in Österreich.....	8
<b>2 Rechtliche Grundlagen .....</b>	<b>9</b>
2.1 EU-Richtlinie 2009/31/EG .....	9
2.2 Österreichische Klimaschutzstrategie und Klimaziele .....	9
2.3 Verbot der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid .....	10
2.4 Auftrag zur Evaluierung des Verbotes .....	11
<b>3 Evaluierungsbericht 2018 .....</b>	<b>12</b>
<b>4 Internationale CCS-Industrieprojekte .....</b>	<b>14</b>
<b>5 Forschung und Entwicklung.....</b>	<b>15</b>
5.1 Lagerstättenintegrität.....	15
5.2 Bohrlochintegrität.....	18
5.3 Überwachungstechnologien.....	20
5.4 Technologie-Reifegrad.....	21
5.5 Evaluierung der konkurrierenden Lagerstättennutzung .....	22
5.6 Potentielle Umweltauswirkungen .....	25
<b>6 Conclusio.....</b>	<b>28</b>
<b>7 Empfehlung .....</b>	<b>31</b>
<b>8 Referenzen .....</b>	<b>33</b>
<b>9 Anhänge.....</b>	<b>40</b>
<b>10 Beilage .....</b>	<b>45</b>

# 1 Einleitung

CCS (Carbon Dioxide Capture and Storage) ist ein Verfahren, bestehend aus Prozessen zur Abscheidung von Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ), dessen Transport und der Einbringung in geologische Formationen zur sicheren, langfristigen Speicherung (ISO/DIS 27920, 2020). Der vorliegende Bericht beschreibt neue Erkenntnisse und internationale Erfahrungen auf diesem Gebiet seit der letzten Evaluierung des Bundesgesetzes über das Verbot der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid im Jahr 2018.

Wie bereits im Titel des Bundesgesetzes über das Verbot der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid, BGBl. I Nr. 144/2011 zum Ausdruck gebracht, ist die Prüfung der technischen Machbarkeit der Speicherung von Kohlenstoffdioxid alleiniger Gegenstand des vorliegenden Evaluierungsberichts. Es ist allerdings evident, dass andere Themenbereiche wie „Abscheidung“ und „Transport“ von  $\text{CO}_2$  nicht losgelöst von der Speicherung zu betrachten sind. Diesbezügliche Lösungsansätze werden in anderen Formaten zu erarbeiten und zu implementieren sein (siehe Kapitel 7).

## 1.1 Klimapolitische Relevanz von CCS

Der Weltklimarat IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) schätzt in seinen aktuellen Berichten (IPCC, 2022) die negativen Folgen des anthropogenen Klimawandels bei einer globalen Erwärmung von mehr als  $1,5^\circ\text{C}$  (im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter) als erheblich ein. Um diese Herausforderung zu bewältigen, wurde mithilfe des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen im Jahr 2015 das Übereinkommen von Paris ausgehandelt (UNFCCC, 2016). Mit diesem hat sich die Staatengemeinschaft das Ziel gesetzt, gemeinsam die globale Erwärmung auf zumindest unter  $2^\circ\text{C}$  zu begrenzen und zusätzlich Anstrengungen zu unternehmen, um die Erwärmung auf  $1,5^\circ\text{C}$  zu beschränken. Im Gegensatz dazu prognostiziert der Weltklimarat (IPCC, 2022), dass die weltweit implementierten Maßnahmen nach dem Übereinkommen von Paris zum Stand Ende 2020 allenfalls ausreichen, um Ende dieses Jahrhunderts die mittlere globale Erwärmung auf ca.  $3,2^\circ\text{C}$  zu limitieren. Das bedeutet, dass nach derzeitigem Stand eine Begrenzung der globalen Erwärmung auf maximal  $1,5^\circ\text{C}$  – ohne eine massive Verstärkung der Anstrengungen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen – nicht gelingen wird. Grundsätzlich werden verschiedene Strategien genannt, welche allesamt zu verfolgen sind, um kosteneffektiv ein Voranschreiten des anthropogenen Klimawandels hintanzuhalten, und

die je nach berechnetem Erderwärmungs-Szenario unterschiedlich stark zum Tragen kommen werden müssen. Diese Strategien sind

- 1) Vermeidung von Treibhausgasen (THG) durch Reduzierung des Verbrauches an Gütern und Beschränkung von Aktivitäten, die zur Emission von CO<sub>2</sub> führen;
- 2) Ersatz von CO<sub>2</sub>- und THG-intensiven Gütern durch neue Technologien und Produkte;
- 3) Verringern der freigesetzten Menge von anthropogen produziertem CO<sub>2</sub> durch Abscheiden an industriellen Punktquellen sowie nachfolgender Nutzung und Verwertung (CCU – Carbon Dioxide Capture and Utilisation) oder dauerhafter Speicherung des Treibhausgases (CCS).
- 4) Dauerhafte Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre durch menschliche Aktivitäten mittels natürlicher und technischer Verfahren (Carbon Dioxide Removal - CDR gemäß IPCC). Während die Vermeidung die Mehrbelastung der Atmosphäre mit CO<sub>2</sub> verhindert, entlastet CDR die Atmosphäre von CO<sub>2</sub>.

Aktuellen Klimaneutralitätsstudien liegt meist eine klare Hierarchie zugrunde, in der die Punkte 1) und 2) dem Einsatz der CO<sub>2</sub>-Abscheidung vorgezogen werden (Deutscher Bundestag, 2022). Der vorliegende Bericht bezieht sich auf die dauerhafte geologische Speicherung von CO<sub>2</sub>. Zurzeit werden jährlich weltweit ca. 32 Mrd. Tonnen energiebezogenes CO<sub>2</sub> emittiert (IEA, 2021). Das derzeitige CO<sub>2</sub>-Abscheidungspotential aller sich weltweit in Betrieb-, in Bau, beziehungsweise in verschiedenen Entwicklungsstadien befindlichen CCS-Anlagen beläuft sich auf 244 Mio. Tonnen pro Jahr, das sind momentan noch knapp weniger als 1% der verursachten Emissionen. Gegenüber dem letzten Jahr gab es jedoch einen signifikanten Anstieg des verfügbaren Potentials um 44% (Global CCS Institute, 2022).

Die internationale Energieagentur IEA führt aus, dass zum Erreichen des angestrebten 1,5 °C Ziels aus dem Übereinkommen von Paris es bis 2050 notwendig sei, die Kapazitäten für CDR auf jährlich 1,9 Mrd. Tonnen zu erhöhen (IEA, 2021 (2)). Dies entspricht in etwa dem Achtfachen der derzeitigen CCS-Kapazitäten auf Basis von aktiven und sich in Bau beziehungsweise in Entwicklung befindlichen Projekten. Hierbei ist einerseits zu beachten, dass das erwähnte von der IEA unterstellte Szenario das ambitionierteste aller analysierten Szenarien darstellt und bei allen anderen Berechnungen von einem sehr viel höheren Bedarf an CDR ausgegangen wird, nämlich etwa 3,5 bis 16 Mrd. Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr bis 2050. Dafür müssten die CO<sub>2</sub>-Speicherkapazitäten laut IPCC-Szenarien bis 2050 – im Vergleich zu heute – um das ca. 12 bis 60-fache ausgebaut werden. Laut dem technischen Beratungsgremium für die EU-Kommission zum Thema CCS (ZEP – Zero Emissions Platform) ist die Nachfrage nach Speichermöglichkeiten bereits heute größer als die angestrebten Ausbaupläne der Speicherstätten (ECCSEL, 2022). Andererseits ist zu berücksichtigen, dass zukünftig das

Speicherpotential natürlich existierender CO<sub>2</sub>-Senken wie Wäldern und Ozeanen aufgrund des Fortschreitens des anthropogenen Klimawandels abnehmen wird und sich die Senkenfunktion auch umkehren kann.

Alternativ zur geologischen CO<sub>2</sub>-Speicherung ist es möglich, CO<sub>2</sub> stofflich zu verwerten und weiter zu nutzen (Carbon Capture and Utilisation – CCU). Obwohl die verfahrenstechnischen Prozesse dafür als gut verstanden gelten, ist ein hoher industrieller Reifegrad noch kaum erreicht und daher das Potential zur CO<sub>2</sub>-Entnahme begrenzt. Zudem bringt nur eine dauerhafte Speicherung von Kohlenstoff in Produkten nachhaltige Vorteile im Klimaschutz. Auch EHR (Enhanced Hydrocarbon Recovery), eine Methode zur verbesserten Nutzung von Erdöl- und Erdgasreserven, bei der unter anderem CO<sub>2</sub> (und zB Stickstoff) in Kohlenwasserstofflagerstätten eingebracht wird, stellt keine nachhaltige Form der CO<sub>2</sub>-Speicherung zum Klimaschutz dar. Die Anwendung dieser Technologie ist zwar seit Jahrzehnten weltweit gängige Praxis in der Erdöl- und Erdgasproduktion, gilt als sehr gut erforscht und birgt sehr geringe bis keinerlei Umweltrisiken. In Bezug auf das Potential zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist jedoch anzumerken, dass die dauerhafte geologische Speicherung nicht primärer Anwendungsgrund dieser Technologie, sondern nur ein Nebeneffekt mit eher geringen speicherbaren Volumina ist. Der Zweck des Verfahrens erhöht die Förderfähigkeit von fossilen Lagerstätten, was sich wiederum nachteilig auf Klimaschutzbemühungen auswirken kann.

Der Schlüssel zur Beurteilung des Klimanutzens von CCU-Tätigkeiten ist die individuelle Lebenszyklusanalyse. Dadurch können sämtliche relevanten Emissionen und Nebeneffekte, die entlang der CCU-Wertschöpfungskette entstehen, erfasst und bewertet werden. Gerade im Bereich von CCU ist eine umfassende Betrachtungsweise notwendig, um dessen möglichen Beitrag zu den nationalen Klimazielen vollständig und richtig abschätzen zu können. Je nach Lebenszyklus eines aus CO<sub>2</sub> hergestellten Produkts wird dabei das Treibhausgas für Wochen (synthetische Kraftstoffe), Jahre (Kunststoffe) oder Jahrzehnte (Baustoffe) gespeichert. Die überwiegende Mehrheit der CCU-Prozesse hat einen hohen Energiebedarf oder erfordert „hochenergetische“ Reaktionspartner, die sich auf Umwelt und Betriebskosten auswirken können. Jene Industriezweige, die CO<sub>2</sub> nutzen könnten (Kraftstoffe, Chemie, Werkstoffe), sind häufig margenschwache und großvolumige Märkte. Damit gehen hohe Kosten für die Anpassung bestehender Prozesse und langsame Produktanpassungsraten (langsame Aufnahme in den Markt) einher. Das bedeutet, dass das Erreichen der Investitionsrentabilität durch erhebliche Investitionen erschwert wird (Climate Lab, 2023). In Anbetracht der genannten Herausforderungen, die CCU-Technologien zu bewältigen haben, schätzt die Internationale Energieagentur, dass die permanente geologische Speicherung im Jahr 2050 einen Anteil von rund 95% am CDR haben könnte (IEA, 2021 (2)).

Zusammenfassend wird festgestellt, dass im Zentrum der österreichischen Klimastrategie die Vermeidung von Treibhausgasemissionen steht (Punkte 1 und 2). Nebenbei soll gleichzeitig eine Strategie zur Abscheidung und geologischen Speicherung oder permanenten Nutzung von CO<sub>2</sub> aus nicht vermeidbaren Restemissionen der „hard-to-decarbonize“-Sektoren ausgearbeitet werden, um das Klimaneutralitätsziel zu erreichen (Punkt 3). Der Weltklimarat führt dazu aus, dass der Ausbau der permanenten geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub> zur bestmöglichen Einhaltung der Pariser Klimaziele sehr wichtig sei (IPCC, 2022). CCS kommt allerdings nur nach Ausschöpfung aller anderen Emissionsminderungs- und Energieeffizienzmaßnahmen als „last-resort“ Maßnahme, und aus heutiger Sicht eben ausschließlich für die genannten „hard-to-decarbonize“-Sektoren in Betracht. Relevante Emissionsquellen wären emissionsintensive Industrieanlagen mit unvermeidbaren prozessbedingten Emissionen, zB Kalk/Zement-, Feuerfest-, Zellstoff(Papier)-Industrie, Raffinerien, Eisen- und Stahlerzeugung, Abfallverbrennungsanlagen sowie größere Energie- und Industrieanlagen, die nachhaltig Biomasse einsetzen.

## 1.2 Geologische Speicherung von CO<sub>2</sub>

Für die dauerhafte geologische Speicherung von CO<sub>2</sub> kommen tiefliegende, poröse, durchlässige Gesteinsschichten in Frage, die von undurchlässigen Gesteinsschichten (sogenannten Deckschichten) überlagert werden, die ein Wiederaustreten des zuvor eingebrachten CO<sub>2</sub> verhindern. Grundsätzlich kommen als Speichergesteine ausgeforderte Lagerstätten von Erdöl und Erdgas und salzwasserführende tiefen Gesteinsschichten – sogenannte salinare Aquifere – in Betracht. Die Bedeutung von nicht nutzbaren Kohleflözen und untertägigen Kavernen (zB Stollensystemen) gilt im Vergleich dazu als sehr begrenzt.

Die Qualität von ausgeforderten Erdöl- und Erdgaslagerstätten gilt zumindest für die Speicherung von Erdgas als sehr gut erforscht; einerseits waren in diesen Lagerstätten über Millionen von Jahren Kohlenwasserstoffe natürlich konserviert, andererseits ist der geologische Untergrund in Kohlenwasserstoffprovinzen durch viele Jahrzehnte von Aufsuchungs- und Produktionstätigkeiten eingehend untersucht. Diesbezüglich sei auch die lange und erfolgreiche Tradition Österreichs im Betrieb von Erdgasspeichern und die Anwendung von EHR (siehe Kapitel 1.1) erwähnt.

Speichermöglichkeiten in salinaren Aquiferen können sich ebenso in Kohlenwasserstoffprovinzen befinden, jedoch in anderen Tiefenstockwerken als erdöl- oder erdgasführende Schichten. Die Tiefenstockwerke sind durch undurchlässige Gesteinsschichten hydraulisch voneinander getrennt. Salinare Aquifere sind kein Ziel der Kohlenwasserstoffexploration, daher gelten deren genaue Lage und individuelle

Speichereigenschaften auch in Österreich momentan noch als weniger gut erforscht. Jedoch sind weltweit bereits zahlreiche salinare Aquifere auf ihre Eignung als CO<sub>2</sub>-Speicher erforscht, und einige der größten kommerziellen CCS-Projekte werden in diesen seit über 25 Jahren erfolgreich und ohne Zwischenfälle betrieben (Furre et al., 2017).

### 1.3 Geologische Speichermöglichkeiten in Österreich

Österreich verfügt über geologische Speichermöglichkeiten sowohl in ausgefördernten Kohlenwasserstofflagerstätten als auch potentiell in salinaren Aquiferen. Es sind zurzeit ca. 200 ausgefördernte beziehungsweise teilweise ausgeförderte Erdöl- und Erdgasfeldkomplexe sowie etwa 30 salinare Aquifersysteme bekannt (GBA, 2022). Einige dieser geologischen Speicher werden bereits seit Jahrzehnten für die Speicherung von Erdgas verwendet. Darüber hinaus werden neue Nutzungsmöglichkeiten geologischer Untergrundspeicher, beispielsweise zur Speicherung von Wasserstoff (H<sub>2</sub>) oder Wärme, intensiv erforscht (zB ATES, 2021).

Eine nähere Beschreibung der Speichermöglichkeiten Österreichs und etwaige spezifische Eignung für unterschiedliche Speichermedien finden sich in Kapitel 5.5 des vorliegenden Berichts.

## 2 Rechtliche Grundlagen

### 2.1 EU-Richtlinie 2009/31/EG

Die Richtlinie 2009/31/EG (CCS-RL) des europäischen Parlaments und des Rates regelt die geologische Speicherung von Kohlenstoffdioxid. Der Erlass dieser Richtlinie erfolgte in Erwägung zahlreicher Gründe, dabei wird CCS als eine Brückentechnologie genannt, die dem Übereinkommen von Paris folgend zur geplanten Reduzierung der Treibhausgasemissionen und damit zur Abschwächung des Klimawandels beiträgt. Ziel der CCS-RL war das Schaffen eines rechtlichen Rahmens für die umweltverträgliche geologische Speicherung von CO<sub>2</sub>. Nach Artikel 4 der Richtlinie behalten die Mitgliedstaaten das Recht, die Speicherstätten gemäß definierten Kriterien der Richtlinie folgend selbst auszuwählen. Dazu gehört auch das Recht, auf Teilen oder der Gesamtheit des Hoheitsgebiets keinerlei Speicherung zuzulassen (Europäische Kommission, 2009).

### 2.2 Österreichische Klimaschutzstrategie und Klimaziele

Bis Ende des Jahres 2019 war eine nationale langfristige Klimastrategie 2050 zu erstellen und an die Europäische Kommission zu übermitteln. Österreich hat sich darin ursprünglich zum Ziel bekannt, bis spätestens 2050 klimaneutral zu werden, und das ohne den Einsatz von Nuklearenergie (BMNT, 2019). In dieser Langfriststrategie wird auch ausgeführt, dass zum Erreichen des Zielzustandes von „Netto-Nullemissionen“ u.a. technologische Lösungen wie dauerhafte Speicherung von CO<sub>2</sub> in geologischen Strukturen (CCS) beitragen können, jedoch sei die Anwendung dieser Technologie aufgrund der rechtlichen Rahmenbedingungen zumindest befristet bis 2023 unterbunden.

Im Rahmen der EU Lastenteilungsverordnung („Effort-Sharing-Regulation“ ESR) werden für die Sektoren außerhalb des EU-Emissionshandels (EU-ETS) und exklusive dem LULUCF Sektor (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft) verbindliche Jahresziele für die Mitgliedstaaten festgelegt. Für Österreich war eine Reduktion der THG-Emissionen in den ESR-Sektoren (Gebäude, Verkehr, Energie und Industrie (non-ETS), Landwirtschaft, Abfall und Fluorierte Gase) bis zum Jahr 2030 um 36% gegenüber dem Jahr 2005 vorgesehen. Im Juli 2021 hat die Europäische Kommission das Gesetzgebungspaket „Fit for 55“ vorgelegt. Um dieses neue Ziel einer EU-weiten THG-Minderung von mindestens netto 55% bis 2030 gegenüber dem Jahr 1990 zu erreichen, war Österreichs Ziel der geplanten Reduktion von minus 36% gegenüber dem Jahr 2005 nicht mehr ausreichend. Das Ziel wurde daher für eine

Erreichung von minus 48% angepasst. Die Bundesregierung hat sich zusätzlich zum Ziel gesetzt, dass Österreich bereits bis spätestens 2040 klimaneutral werden soll. Bei der dafür geplanten Einhaltung der verbindlichen Reduktionspfade wird eine Vielzahl von entsprechenden Maßnahmen notwendig sein.

## 2.3 Verbot der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid

Im Zuge der Arbeiten zur Umsetzung der unionsrechtlichen Vorschriften der CCS-RL (Europäische Kommission, 2009) zeigte sich, dass sich die geologische Speicherung von CO<sub>2</sub> zum damaligen Zeitpunkt im Entwicklungsstadium befand und einige technische Fragestellungen nicht ausreichend geklärt werden konnten. Aus dieser Sachlage heraus resultierende Bedenken führten dazu, dass Österreich vom unionsrechtlich eingeräumten Recht, keinerlei Speicherung auf Teilen oder der Gesamtheit seines Hoheitsgebiets zuzulassen (vgl. Art. 4 Abs. 1 CCS-RL), Gebrauch machte. Infolge dessen wurde das Bundesgesetz über das Verbot der geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub> erlassen. Mit dem Beschluss dieses Bundesgesetzes wurden die Bestimmungen der CCS-RL der EU in nationales Recht umgesetzt.

Das Bundesgesetz normiert einerseits ein Verbot der geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub> – das heißt der Einbringung und behälterlosen Speicherung von Kohlenstoffdioxidströmen in geologischen Strukturen. Außerdem sieht das Gesetz ein Verbot der Exploration – das heißt der Erkundung und Beurteilung potentieller Speicherkomplexe zum Zweck der geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub> durch Eingriffe in den Untergrund wie Bohrungen, mit denen geologische Daten erhoben werden, vor.

Ausgenommen sind die Exploration, beziehungsweise die geologische Speicherung von CO<sub>2</sub> mit einem Gesamtvolumen von weniger als 100 000 Tonnen zu Forschungszwecken. Ebenso wenig fällt die Anwendung der EHR-Technologie (siehe Kapitel 1.1) in den Geltungsbereich des Verbotes (siehe auch Erwägungsgrund 20 der CCS-RL). Auch der Betrieb untertägiger „Power-to-Gas“-Anlagen, in denen aus (durch Einsatz von Ökostrom erzeugtem) Wasserstoff und CO<sub>2</sub> erneuerbares Methan hergestellt wird, fällt nicht unter das Gesetz. Da im geologischen Untergrund nur ein Produkt erzeugt und wieder ausgefördert wird, ist der Tatbestand der geologischen Speicherung nicht erfüllt. In dem Zusammenhang ist auch die vorübergehende Zwischenspeicherung (Bereithaltung) von CO<sub>2</sub> für eine spätere Verwendung (zB als Rohstoff für die Herstellung neuer Produkte) vom Verbot ausgenommen (BMNT, 2018).

Seit dem Beschluss des Gesetzes im Jahr 2011 erfolgte keine Novellierung.

## 2.4 Auftrag zur Evaluierung des Verbotes

Gemäß § 4 des Bundesgesetzes über das Verbot der geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub> hat die Bundesregierung bis Ende 2018 und danach im Abstand von jeweils fünf Jahren einen Bericht über die Evaluierung des Verbotes, unter besonderer Berücksichtigung der international gewonnenen Erfahrungen, dem Nationalrat vorzulegen.

Sofern sich aus dem Evaluierungsbericht die Notwendigkeit gesetzgeberischer Maßnahmen ergibt, hat die Bundesregierung entsprechende Entwürfe auf Vorschlag des Bundesministers für Finanzen, im Einvernehmen mit der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie und dem Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft, gemeinsam mit dem Bericht dem Nationalrat vorzulegen.

### 3 Evaluierungsbericht 2018

In dem im Dezember 2018 vorgelegten und vom Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT, 2018) erstellten Evaluierungsbericht der Bundesregierung wurde auf internationale Erfahrungen zurückgegriffen, wie dies auch in § 4 des Bundesgesetzes über das Verbot der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid vorgesehen ist. Grund dafür war, dass in Österreich im Zeitraum zwischen 2011 und 2018 keine Forschungsprojekte zur Speicherung von CO<sub>2</sub> durchgeführt wurden.

Zur internationalen Entwicklung von CCS-Industrieprojekten zwischen 2011 und 2018 führt der Bericht aus, dass weltweit elf neue Anlagen in Betrieb gingen, wobei neun der neuen Anlagen mit dem Hauptzweck der Anwendung der EHR-Technologie (siehe Kapitel 1.1) errichtet wurden. Lediglich zwei Anlagen hatten die ausschließliche dauerhafte Speicherung von CO<sub>2</sub> zum Zweck.

Einige geplante Großprojekte wurden im Berichtszeitraum aus technischen Gründen, wegen politischer Herausforderungen oder zu diesem Zeitpunkt fehlender finanzieller Darstellbarkeit nicht weiterverfolgt. Der Evaluierungsbericht sah in Hinblick auf technische Fragestellungen vor allem weiteren Forschungsbedarf in folgenden Bereichen:

- Bohrlochintegrität (Anforderungen an Zement, Verrohrung etc.)
- Lagerstättensimulation für Vorhersagen des Fließverhaltens von CO<sub>2</sub> innerhalb des Speichers
- Monitoring-Methoden zum Detektieren etwaiger CO<sub>2</sub>-Austritte (Leckagen) aus dem Speicher.

Darüber hinaus sei bei Vorliegen neuer internationaler Erkenntnisse in den genannten Bereichen die Anwendbarkeit dieser auf die spezifischen nationalen Gegebenheiten zu prüfen.

Zum damals bekannten Speicherpotential Österreichs führt der Bericht aus, dass die grundsätzlich verfügbaren Strukturen vor allem kohlenwasserstoffführende Strukturen wären, die zurzeit für die Gewinnung von Erdöl/Erdgas oder zur Erdgasspeicherung genutzt werden würden. In Anbetracht möglicher zukünftiger Nutzungsmöglichkeiten genannter Strukturen (zum Beispiel zur Speicherung von Wasserstoff) sei auch das Thema „konkurrierende Nutzung“ zu diskutieren, falls die dauerhafte Speicherung von CO<sub>2</sub> einer anderweitigen Nutzung etwaiger Strukturen entgegensteht.

Das mögliche Speicherpotential salinarer Aquifere (siehe Kapitel 1.2) war zum damaligen Zeitpunkt noch nicht erhoben worden.

Zusammenfassend kommt der Evaluierungsbericht 2018 zum Schluss, dass es für eine dauerhafte geologische Speicherung von CO<sub>2</sub> in Österreich weiterer Forschungs- und Entwicklungsschritte bedürfe. Besondere Schwerpunkte sollten dabei auf nationale geologische Gegebenheiten und Auswirkungen auf die Umwelt gerichtet sein. Daher sähe man im Moment keinen Bedarf einer Änderung des Bundesgesetzes über das Verbot der geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub> (BMNT, 2018).

## 4 Internationale CCS-Industrieprojekte

Weltweit befinden sich mit Stand September 2022 30 CCS-Anlagen (Abscheidung und Speicherung) in Betrieb, weitere elf Anlagen befinden sich in Bau und werden innerhalb der kommenden vier Jahre in Betrieb genommen werden. Das gesamte CO<sub>2</sub>-Abscheidungspotenzial dieser 41 Anlagen liegt bei ca. 51 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr. Ein signifikantes Wachstum wird zurzeit bei CCS-Anlagenprojekten, die sich im „fortgeschrittenen Entwicklungsstadium“ befinden, beobachtet. Es gibt 78 solcher Projekte, deren kumulatives CO<sub>2</sub>-Abscheidungspotenzial insgesamt 100 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr beträgt. Das bedeutet, dass alle in Betrieb, in Bau sowie in „fortgeschrittenem Entwicklungsstadium“ befindlichen CCS-Anlagen ein gemeinsames CO<sub>2</sub>-Abscheidungspotenzial von ungefähr 150 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr besitzen. Die Definition von „fortgeschrittenem Entwicklungsstadium“ bedeutet, dass bereits signifikante Fördermittel für technische Entwicklung und Pilotversuche zuerkannt wurden, politische Verpflichtungserklärungen abgegeben wurden und eine hohe Wahrscheinlichkeit der Projektrealisierung besteht. Weitere 75 Projekte mit einem CO<sub>2</sub>-Abscheidungspotenzial von ca. 95 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr befinden sich momentan in einer frühen Planungsphase (Global CCS Institute, 2022).

Anhang 1 des vorliegenden Berichts listet alle weltweit neu in Betrieb gegangenen sowie sich in Bau befindlichen CCS-Anlagen – seit Erscheinen des letzten Evaluierungsberichts – auf. Alle gelisteten Projekte haben dezidiert die dauerhafte geologische Speicherung von CO<sub>2</sub> zum Zweck. Projekte, die beispielsweise EHR-Technologie (siehe Kapitel 1.1) anwenden, sind nicht angeführt. So sind seit 2019 fünf derartige Anlagen in Betrieb genommen worden. Weitere fünf Anlagen befinden sich in Bau und werden in den kommenden ein bis vier Jahren in Betrieb genommen werden (Global CCS Institute, 2022). Bei acht dieser insgesamt zehn neuen Anlagen befinden sich die Speicherhorizonte in salinaren Aquiferen (inklusive zwei Projekten in Island in geklüftetem Basalt), bei zwei Anlagen befinden sich die Speicherhorizonte in ausgefördernten Kohlenwasserstofflagerstätten.

# 5 Forschung und Entwicklung

In diesem Kapitel werden aktuelle technische Fortschritte und wissenschaftliche Erkenntnisse im Bereich der geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub> dargestellt.

Für eine detaillierte Aufstellung von aktuellen Forschungs- und Entwicklungsprojekten im Bereich CCS liegt im vorliegenden Bericht – aufgrund der besseren Umlegbarkeit von Erkenntnissen auf österreichische Gegebenheiten – der Fokus auf europäischen Projekten.

Aus denselben Gründen liegt der Schwerpunkt der Betrachtung auf Projekten, bei denen sich der geologische Speicher auf dem Festland befindet. Auf aktuelle CCS-Projekte mit untermeerischen geologischen Speichern wird im vorliegenden Bericht nicht näher eingegangen. Dazu zählen beispielsweise große Projekte aus Norwegen (siehe Anhang 1 – „Northern Lights Storage“), Großbritannien und der Niederlande.

Anhang 2 (CO<sub>2</sub> GeoNet, 2020, 2021) zeigt, dass gegenwärtig in mehr als 15 europäischen Ländern Forschungs- und Pilotprojekte zu verschiedenen wissenschaftlichen Themenbereichen rund um die Speicherung von CO<sub>2</sub> in geologischen Formationen stattfinden.

Der Evaluierungsbericht von 2018 zeigte insbesondere in den Bereichen Bohrlochintegrität, Lagerstättensimulation und Monitoring-Methoden weiteren Forschungsbedarf auf (siehe Kapitel 3). Forschungsfortschritte wurden im Berichtszeitraum in allen genannten Bereichen erzielt und seit 2018 konnten zahlreiche neue Ergebnisse und Informationen aus wissenschaftlichen Studien, Pilot- und Demonstrationsprojekten sowie nicht zuletzt aus kommerziellen Speicherprojekten publiziert werden.

## 5.1 Lagerstättenintegrität

Erste Tätigkeiten zum technischen Einbringen von CO<sub>2</sub> in geologischen Untergrund fanden in den USA bereits in den frühen 1970er Jahren im Zuge der erfolgreichen Einführung der EHR-Technologie (siehe Kapitel 1.1) statt. Seit damals wurde umfangreiche Fachliteratur zu zahlreichen technischen Themen und Fragestellungen rund um die geologische Speicherung von CO<sub>2</sub> veröffentlicht. Zu diesen Themen zählen das Aufsuchen neuer Speicher, Speichereigenschaften, Speichersicherheit, Speicherkapazitäten, technische

Risikoabschätzung und Risikomanagement (zB Benson & Cook, 2005; Gluyas & Mathias, 2013; Kuckshinrichs & Hake, 2015; Rackley, 2017; Mohaghegh et al, 2018).

Die Einbringung von CO<sub>2</sub> in einen geologischen Speicher geschieht ab einer Tiefe von ca. 800 m – dem physikalischen Phasendiagramm folgend – nicht in gasförmigem Zustand, sondern in flüssiger beziehungsweise dichter Phase. Dieser Phasenzustand, der für CO<sub>2</sub> eine Viskosität jener von Gas und eine Dichte jener von Flüssigkeit zur Folge hat, sorgt für ein spezifisches Fließverhalten des eingebrachten Mediums innerhalb einer porösen, wassergesättigten Speicherformation, und gilt in seinen Grundsätzen als gut erforscht (zB Ott, 2015; Ringrose, 2020).

Mit Fortdauer der Einspeicherung von CO<sub>2</sub> in eine geologische Formation kommt eine Kombination von günstigen physikalischen und geochemischen Reaktionen im Sinne von Rückhaltemechanismen (Benson & Cook, 2005; Marini, 2006; Gholami & Raza, 2022) zum Tragen. Diese Mechanismen, die als wissenschaftlich gut verstanden gelten, sorgen dafür, dass das eingebrachte Medium in der zur Speicherung bestimmten Formation verbleibt.

Die Zeiträume für den Ablauf physikalischer und chemischer Reaktionen innerhalb der Speicherstätte reichen von wenigen Tagen bis zu mehreren tausend Jahren. Wissenschaftliche Studien zeigen, dass geologische Untergrundspeicher, unabhängig vom eingespeicherten Medium, nie als vollständig dicht gelten können. Geringe Leckagen sind somit auch bei Speicherung von CO<sub>2</sub> über geologische Zeiträume ( $\geq$  zehntausende Jahre) zu erwarten, diese haben jedoch keine negativen Implikationen auf zugrundeliegende Klimastrategien. In Hinblick auf Quantifizierung und Abschätzung von Leckagen über geologische Zeiträume haben zum Beispiel Alcade et al. (2018) Berechnungen mithilfe numerischer Lagerstättensimulationsprogramme durchgeführt. Diese zeigen, dass sorgfältig ausgewählte geologische Speicher eine 50 prozentige Wahrscheinlichkeit aufweisen, dass sich (auf Basis von Anwendung des derzeitigen Stands der Technik) nach 10 000 Jahren noch 98% des injizierten CO<sub>2</sub> in der Lagerstätte befinden. Im Falle eines unzureichend sorgfältig ausgewählten Speichers zeigten die Berechnungen, dass sich selbst dort nach 10 000 Jahren (in zumindest der Hälfte der Fälle) noch 78% des injizierten CO<sub>2</sub> in der Lagerstätte befinden. Speicher gelten z.B. dann als unzureichend sorgfältig ausgewählt, wenn sie sich in Ländern oder Gebieten mit großer Anzahl an nicht oder nur schlecht dokumentierten aufgelassenen Bohrungen befinden. Es wird angemerkt, dass das tatsächliche Langzeitverhalten von CO<sub>2</sub> innerhalb eines spezifischen geologischen Speichers über geologische Zeiträume trotz modernster Simulationsmethoden mit einer gewissen Unsicherheit behaftet bleibt (Alcade et al., 2018).

In Bezug auf die Dictheit von CO<sub>2</sub>-Speichern spielen neben dem Verhalten des injizierten Mediums innerhalb der Speicherformation auch die überlagernden, geringpermeablen Deckschichten (siehe Kapitel 1.2) eine bedeutende Rolle. Die Evaluierung von Deckschichten geologischer Reservoirs umfasst drei Hauptkriterien: i) den Eindringkapillardruck, der die Durchlässigkeit der Deckschicht gegenüber Lagerstättenfluiden definiert, ii) das Vorhandensein von tektonischen Störungen und deren Durchlässigkeit, sowie iii) die (geo-)mechanischen Eigenschaften der Deckschichten und eventuelle Alteration während des Speichervorgangs (zB Shukla et al., 2010; Kaldi et al., 2013). Diese Kriterien können durch Standardverfahren der Kohlenwasserstoffindustrie (Geophysik, Laboranalysen, numerische Simulation) grundsätzlich gut eingegrenzt und bewertet werden. Jüngste Studien beschäftigen sich auch mit der Frage, inwieweit induzierte Lösungs- oder Ausfällungsvorgänge die porestrukturellen und mechanischen Eigenschaften solcher Deckgesteine langfristig – also über geologische Zeiträume – beeinflussen können (zB Jayasekara et al., 2020).

In den letzten Jahren ist vermehrt Forschungsaktivität in Bezug auf Untersuchung von Deckschichten in geologischen Sedimentbecken in Österreich beziehungsweise in angrenzenden Ländern zu verzeichnen. Hervorzuheben sind hier Projekte der Technischen Universität München (zB KompakT – Kompaktion, Barrierewirkung und Temperaturverteilung im Bayerischen Molassebecken) sowie der Montanuniversität Leoben (zB POREMECH – Natürliche Energieträger und Barrieregesteine). Außerdem gibt es an der Montanuniversität Leoben zurzeit ein Projekt, in dem der Langzeit-Einfluss von CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> auf Deckschichten über Gasspeichern der OMV untersucht wird. Ein ähnliches Projekt im Auftrag der RAG Austria AG beschäftigt sich im Moment mit der Eignung von Barrieregesteinen für die Speicherung von Wasserstoff unter Beimengungen von CO<sub>2</sub>. Bei den genannten Projekten geht es beispielsweise darum, zu erforschen, wie sich CO<sub>2</sub>-gesättigtes Porenfluid auf die Karbonatlöslichkeit in Deckgesteinen auswirken kann. Erste Ergebnisse für das Wiener Becken zeigen, dass dort aufgrund der sehr geringen Durchlässigkeiten typischer Deckschichten von geringen und technisch beherrschbaren Lösungsraten ausgegangen werden kann (Skerbisch et al., 2022). Neben den genannten und bereits abgeschlossenen bilateralen Forschungsprojekten finden aktuell weitere Projekte unter reger Beteiligung österreichischer Industrie statt beziehungsweise befinden sich in Planungsphase (mündl. Komm. Univ.-Prof. Dr. Misch, Montanuniversität Leoben).

Zusammenfassend wird festgehalten, dass die geologischen, geophysikalischen, geochemischen und geomechanischen Grundlagen zum Themenbereich „Lagerstättenintegrität“ wissenschaftlich weitreichend erforscht sind. Notwendiges Know-how und Werkzeuge zur Erforschung der geologischen Untergrundspeicher kommen zum überwiegenden Teil aus der Kohlenwasserstoffindustrie. Auch die internationale

wissenschaftliche Gemeinschaft geht von einer grundsätzlichen Eignung von ausgeförderten Kohlenwasserstofflagerstätten und salinaren Aquiferen zur Speicherung von CO<sub>2</sub> aus. Physikalisches Phasenverhalten und Fließeigenschaften von CO<sub>2</sub> im Untergrund sind jedoch trotzdem verschieden im Vergleich zu klassischen Kohlenwasserstoffen. So weist CO<sub>2</sub> im geologischen Untergrund im Vergleich zu Methan eine höhere Dichte und Viskosität sowie eine höhere Löslichkeit im Porenfluid auf (siehe auch oben zu Rückhaltemechanismen). Weitere Unterschiede bestehen außerdem in der im Vergleich noch geringen Datenlage für manche Speicherstrukturen (siehe salinare Aquifere, Kapitel 1.2) und in den längeren Betrachtungszeiträumen (geologische Zeiträume) zum Ablauf eines solchen Projekts, im Vergleich zu typischen zehn bis 30 Jahren für ein Kohlenwasserstoffprojekt. All das birgt zusätzliche wissenschaftlich-technische Herausforderungen, wenngleich die Fähigkeiten und Fachleute vorhanden sind, um einen geologischen Speicher für CO<sub>2</sub> sicher zu planen und zu entwickeln (Ringrose et al., 2022). Eingehende standortspezifische geologische und geophysikalische Vorerkundungen (zB Seismik-Akquisition, Seismik-(Re)prozessierung und -Interpretation, Erstellung von geologischen Strukturkarten), Laboranalysen (Bohrkern-, Bohrklein- und Dünnenschliffanalysen), Lagerstättenmodellierung und -simulation, verbunden mit einer geeigneten Risikoabschätzung, sind essentiell für die bestmögliche Auswahl geeigneter Speicherstrukturen zu einer sicheren, langfristigen und effizienten geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub>. Diese Vorerkundungen sind – je nach vorhandener Datenlage – für jede potentielle Speicherstätte durchzuführen, und zwar unabhängig davon, ob es sich um ausgeförderte Kohlenwasstoffsstätten oder um salinare Aquifersysteme handelt.

## 5.2 Bohrlochintegrität

Ein ähnlich hoher Wissensstand wie beim Thema Integrität von Lagerstätten existiert auch für die Themenbereiche Bohren und Komplettieren von Bohrungen. Der hohe Wissensstand ist ein Resultat der Forschung bei der Aufsuchung und Gewinnung von Kohlenwasserstoffen über viele Jahrzehnte hinweg. Millionen von erfolgreichen und sicheren Produktions- und Injektionsbohrungen, in vertikaler und abgelenkter Ausführung, in allen erdenklichen geologisch-tektonisch komplexen Regimen wurden weltweit bereits abgeteuft.

Obwohl zum Entwickeln von geologischen CO<sub>2</sub>-Speichern dieselbe Art von Bohranlagen und dieselbe Art von Bohrtechnologie wie in der Kohlenwasserstoffindustrie Anwendung finden, so gibt es doch signifikante Unterschiede in der Planung und Ausführung von Bohrungen. Dasselbe gilt für die Instandhaltung der Sonden über deren Nutzungsdauer hinweg. Zunächst werden designierte Speicherbohrungen zur idealen Nutzung des verfügbaren Porenraums aus lagerstättentechnischen Gründen oft an anderen Stellen der geologischen Struktur platziert als Erdöl- oder Erdgasbohrungen. In diesem Fall würde sich eine Folgenutzung von

ehemaligen Öl- und Gasbohrungen bereits als problematisch beziehungsweise als nicht ideal herausstellen. Ein weiteres häufig diskutiertes Thema, nicht nur bezüglich der Folgenutzung von bereits bestehenden (oft älteren) Bohrungen, sondern auch bei neuen Bohrungen, betrifft die Integrität von Bohrlochverrohrung, Zement und anderen Komponenten gegenüber dem CO<sub>2</sub>-Strom. Der Reinheitsgrad des einzubringenden CO<sub>2</sub>-Stroms gegenüber Fremdgasen oder Stoffen muss gewährleistet sein und ist definiert (Europäische Kommission, 2011; ISO/TR 27921, 2020). Die Spezifikationen von Bohrungen zum Einleiten von CO<sub>2</sub> in geologische Formationen müssen auf jeden Fall höheren qualitativen Ansprüchen genügen im Vergleich zu Öl- oder Gasbohrungen. Verrohrungen müssen beispielsweise einen höheren Anteil an korrosionsbeständigen (Chrom-) Stahlkomponenten besitzen, Elastomere für Packer (Blähkörper zum Abdichten vorgegebener Tiefenbereiche im Bohrloch) müssen für den dauerhaften Kontakt mit CO<sub>2</sub> geeignet sein, ebenso wie die Verwendung von hochqualitativem, niedrigporösem Zement auf Sulfat-Basis, der mehrschichtig um die Verrohrung eingebracht wird. Außerdem besteht die Möglichkeit des Einbringens von Messgeräten in das Bohrloch, die die Dichtheit gegenüber dem Wiederaustreten von CO<sub>2</sub> überwachen können (siehe Kapitel 5.3). Der Einsatz dieser benötigten Materialien und Technologien für derartige Bohrungen ist erforscht und etabliert, bedeutet jedoch einen erhöhten technischen und finanziellen Aufwand im Vergleich zu Kohlenwasserstoffbohrungen (Ringrose et al., 2022).

Bestehende ältere Bohrungen müssen im Einzelfall auf ihre Eignung für CCS geprüft werden. Ist diese prinzipiell gegeben, kann die Verrohrung im Zuge eines „re-lining“-Prozesses neu ausgekleidet und an die erhöhten Anforderungen einer CO<sub>2</sub>-Injektionsbohrung angepasst werden. Die Folgenutzung von ausgeforderten Kohlenwasserstoffbohrungen für CCS bedingt einige technische Herausforderungen in Bezug auf den qualitativen Zustand der Bohrung und Materialkompatibilität für ein CO<sub>2</sub>-Umfeld. „REX-CO<sub>2</sub>“, eine großangelegte Studie von sieben EU-Mitgliedsländern und 20 Industriepartnern hat sich mit diesbezüglichen Fragen eingehend beschäftigt. Diese mehrjährige Studie, die durch das EU-Förderungsschema „Horizon 2020“ mitfinanziert wurde, konnte im Herbst 2022 erfolgreich abgeschlossen werden. Das Hauptergebnis des Großprojekts ist eine frei für Interessenten verfügbare Software zur Klassifizierung und Auswahl geeigneter Bohrungen für eine Folgenutzung als CO<sub>2</sub>-Injektor (REX-CO<sub>2</sub>, 2022).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die technischen und qualitativen Ansprüche an Bohrungen zur sicheren und dauerhaften Speicherung von CO<sub>2</sub> definitiv höher sein müssen als für Kohlenwasserstoffbohrungen. Ähnlich wie im Bereich Lagerstättenintegrität (Kapitel 5.1.) gelten die Herausforderungen als technisch durchführbar (zB GFZ Potsdam, 2017). Sorgfältige Auswahl von geeigneten Bohrungen zur Nachnutzung, Adaptierungen dieser für die Eignung in einem CO<sub>2</sub>-Umfeld, gewissenhafte Planung für neue

Bohrungen und der Einsatz hochqualitativer Komponenten sind essentiell für einen sicheren Betrieb.

### 5.3 Überwachungstechnologien

Neben der bereits erwähnten Möglichkeit der Überwachung der Dichtheit einer Bohrung gegenüber dem Austreten von CO<sub>2</sub>, spielt auch die Vor-Ort Überwachung (oberflächig über der geologischen Speicherstätte oder durch spezielle Beobachtungssonden) eine zentrale Rolle in den Überwachungstechnologien. Dabei geht es einerseits um i) den Beleg der Dichtheit des Speichers im Sinne von Verbleiben des injizierten CO<sub>2</sub> in der geplanten geologischen Formation beziehungsweise Struktur, auch in Zusammenhang mit einem möglichen Risiko induzierter Seismizität (siehe Kapitel 5.6). Andererseits geht es um ii) den Beleg der Konformität im Sinne von geplantem Verlauf des Fließverhaltens und der Ausbreitung des CO<sub>2</sub> innerhalb der geologischen Formation beziehungsweise Struktur (Furre et al., 2020). Weiteres Ziel der Vor-Ort Überwachung ist iii) die Bewertung der Situation im Falle einer unvorhergesehenen Leckage und das Setzen der richtigen Maßnahmen zur Lösung eines solchen Falles (Furre et al., 2017). Unabdingbar ist, dass Dichtheit und Konformität während des Einspeicherns und auch danach (Langzeitüberwachung) sichergestellt sind.

Zu den wichtigsten Monitoring-Methoden zählt Seismik (3D und 4D), mit deren Hilfe vor allem überwacht werden kann, ob das injizierte CO<sub>2</sub> in der geplanten geologischen Formation beziehungsweise Struktur verbleibt. Das in einen Speicher eingebrachte CO<sub>2</sub> bildet einen starken akustischen Geschwindigkeitskontrast zum wassergesättigten Speichergestein, was sich mit seismischen Methoden sehr gut abbilden lässt. Daher zählt Seismik-Monitoring zu den wichtigsten Methoden der Überwachung von CO<sub>2</sub>-Speichern und ist in diesem Bereich seit über 20 Jahren für kommerzielle Projekte im Einsatz. Eine Methode, die bereits ähnlich lange zur Überwachung von CO<sub>2</sub>-Speichern angewendet wird, ist Gravimetrie. Diese Technologie hilft beim Verständnis des Ausbreitungsverhaltens von CO<sub>2</sub> innerhalb der Formation während des Speichervorganges (Furre et al., 2017).

Eine weitere bereits etablierte geophysikalische Überwachungsmethode zur Anwendung im Feld ist InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) für hochauflösende Satellitenbilder, die morphologische Änderungen an der Erdoberfläche über einem Speicher über die Zeit dokumentieren. InSAR wird oft in Kombination mit hochauflösenden Laser- (Lidar – laser imaging detection and ranging) und Geo-Drohnen-Aufnahmen angewendet (zB Ringstad & Jordan, 2022).

Im Folgenden werden Überwachungsmethoden zur Anwendung im Bohrloch erläutert. Eine relativ neue Technologie, die jedoch ebenfalls bereits seit einigen Jahren bei kommerziellen Anlagen (zB Quest, Kanada) in Betrieb ist, ist DAS VSP (Distributed Acoustic Sensing Vertical Seismic Profiling). Dabei werden Glasfaserkabel direkt hinter der Verrohrung von Injektions- oder Beobachtungssonden mitverlegt. So können jederzeit Messungen durchgeführt werden, ohne die Funktionen der Sonde zu beeinträchtigen beziehungsweise den Injektionsvorgang zu unterbrechen (Hopkins et al., 2021). In ähnlicher Art und Weise können bei Mikroseismik-Monitoring (zB zum regelmäßigen Messen von induzierter Seismizität) Geophone (Instrument zum Empfangen von Bodenschwingungen) hinter der Verrohrung von Sonden installiert werden (Europäische Kommission, 2011). Elektrische Widerstandsmessungen (ERT – Electrical Resistivity Tomography) dokumentieren Änderungen in der Wassersättigung im Porenraum. Für die Überwachung von Leckagen über das Bohrloch gibt es außerdem die Möglichkeit der Messung von niederfrequenten Widerständen (MMR – magnetometric resistivity) (Ringstad & Jordan, 2022).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass den Überwachungstechnologien – insbesondere in Hinblick auf die für Mensch und Umwelt sichere Nutzung von CCS – eine hohe Bedeutung zukommt. Dabei geht es um die korrekte Anwendung und Kombination bewährter und innovativer Technologien zum Sammeln der Daten an den Bohrungen und im Feld, deren Interpretation und dem Setzen von geeigneten Maßnahmen (zB Steuern der Injektionsrate) bei ungeplantem Verhalten des injizierten CO<sub>2</sub>. Verschiedene Technologien gelten seit langem als technisch etabliert und sind bei kommerziellen Projekten im Einsatz. Weitere Forschung findet gerade statt und ist notwendig, um den steigenden Bedürfnissen nach noch einfacherer und präziserer Überwachung zu leistbaren Kosten Rechnung zu tragen (Ringrose et al., 2022).

## 5.4 Technologie-Reifegrad

Der Technologie-Reifegrad (TRL – Technology Readiness Level) ist eine Skala zur Bewertung des Entwicklungsstandes neuer Technologien auf Basis von systematischer Analyse. Ursprünglich für die Raumfahrt entwickelt (NASA, 2021; ESA, 2022), hat sich das TRL als Standard für viele andere technologische Bereiche etabliert. Der Wertebereich erstreckt sich von 1 (Beobachtung und Beschreibung eines neu erforschten Funktionsprinzips) bis 9 (serienreifes wettbewerbsfähiges System mit Nachweis der Funktionstüchtigkeit im Einsatzbereich).

Kommerzielle CCS-Projekte in salinaren Aquifersystemen sind sowohl als Festlandspeicher (zB Quest, Kanada) als auch als untermeerische Speicher (zB Sleipner, Norwegen) zum Teil

seit mehr als 20 Jahren erfolgreich (in Hinblick auf Speichereffizienz und Verbleiben des THG innerhalb des dafür vorgesehenen Speicherkomplexes) in Betrieb. Aufgrund dessen und aufgrund zahlreicher internationaler Forschungsaktivitäten zu verschiedenen Aspekten der geologischen CO<sub>2</sub>-Speicherung (inkl. EHR – siehe Kapitel 1.1) ist der Kenntnisstand zur technischen Durchführung von solchen Projekten hoch. Der Speicheroption in salinaren Aquiferen wird ein TRL von 9 zugeordnet, der Speicheroption in ausgeförderten Kohlenwasserstofflagerstätten ein TRL von 7 (ua. weil es aktuell mehr kommerzielle Projekte in salinaren Aquiferen gibt (Bui et al., 2018; Kearns et al., 2021)).

Hierbei wird angemerkt, dass auch die Technologien für den Transport von CO<sub>2</sub> (via Pipeline oder Schiff) einen TRL von 9 aufweisen (Bui et al., 2018).

## 5.5 Evaluierung der konkurrierenden Lagerstättennutzung

Wie in Kapitel 3 erwähnt, wurde im Evaluierungsbericht von 2018 die Notwendigkeit einer Diskussion über mögliche konkurrierende Nutzung von geologischen Untergrundspeichern in Österreich erkannt.

Da der im Untergrund zur Verfügung stehende Raum in geologischen Formationen eine endliche Ressource darstellt und die Speicherung von CO<sub>2</sub> dauerhaft sein soll, kann es zu Konkurrenzen zwischen unterschiedlichen Formen der Untergrundnutzung kommen. Das Gesetz zur Demonstration der dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid der Bundesrepublik Deutschland (KSpG, 2012) nennt als mögliche Nutzungskonflikte zu CCS beispielsweise Speicherung oder Lagerung anderer gasförmiger, flüssiger oder fester Stoffe, sowie die Nutzung des Untergrundes für Tiefen-Geothermie. Andererseits sind bei Anwendung von unterirdischer Raumplanung auch positive Synergien zwischen Nutzungen des Untergrundes und oberflächigen Einrichtungen möglich (Schulze et al., 2015). So bedeuten beispielsweise kurze Transportwege von einer Industrieanlage (zB CO<sub>2</sub>-Emissionsquelle) zu einer Speicherstätte einerseits Ressourcenschonung, andererseits kann dies positiv zur Wirtschaftlichkeit eines Projekts beitragen.

Wie bereits in Kapitel 5.1 ausgeführt, sind eingehende standortspezifische Vorerkundungen notwendig, um geologische Strukturen zu identifizieren und auf ihre Nutzungsmöglichkeiten zu bewerten. Geologische Lagerstätten besitzen unterschiedlichste Eigenschaften (beispielsweise hinsichtlich Mächtigkeit, laterale Ausdehnung, Tiefe, Temperatur, Geochemie, Porosität/Permeabilität und tektonische Beanspruchung) und werden daher für unterschiedliche Nutzungen unterschiedlich gut oder nicht geeignet sein.

Standortspezifische Vorerkundungen sind in jedem Fall durchzuführen, unabhängig davon ob es sich um (ehemalige) Kohlenwasserstofflagerstätten oder um salinare Aquifere handelt.

Im Zuge dessen wurde im Jahr 2022 ein Projekt (GBA, 2022) auf Basis des Vollzugs des Lagerstättengesetzes (§ 1 Lagerstättengesetz, BGBl. Nr. 246/1947) von der Geologischen Bundesanstalt Wien - GBA (seit 2023 GeoSphere Austria) bearbeitet. Ziel dieses Projekts war eine erste Erhebung geologischer Speichermöglichkeiten in salinaren Aquiferen in Österreich. Wie bereits in Kapitel 1.2 erwähnt, ist der aktuelle Forschungsstand zu diesem Speichertyp in Österreich noch gering. Das Projekt sollte daher im Zuge einer groben Ersteinschätzung alle tiefen salinaren (salzwasserführenden) geologischen Einheiten im Bundesgebiet erfassen und deren Eignung zur Speicherung von Wasserstoff ( $H_2$ ),  $CO_2$ , Druckluft, Wärme, sowie hydrothermale Nutzung erkunden. Als Datengrundlage dienten der GBA relevante Geo-Datenbanken und Informationen aus ca. 10 000 Bohrungen des Bohrdatenarchivs. Die Ergebnisse der GBA zeigen, dass die Bundesländer Salzburg, Oberösterreich, Niederösterreich, Wien, Burgenland und Steiermark über insgesamt 33 geologische Formationen beziehungsweise Gebiete salinarer Aquifere verfügen, die für oben genannte Anwendungen potentiell in Frage kommen. Präzise Aussagen hinsichtlich spezifischer Eignung bestimmter Aquifere für bestimmte Anwendungen waren der GBA im Zuge dieses Projekts nicht möglich. Dafür bedürfe es punktuell noch umfangreicherer Daten.

Der ua. für geologische Untergrundspeicher und deren Nutzung in Österreich zuständige Bereich Bergbau des Bundesministeriums für Finanzen (Sektion VI) hat erhoben, dass Österreich über ca. 200 ausgeförderte, beziehungsweise teilweise ausgeförderte Erdöl- und Erdgasfeldkomplexe unterschiedlicher Größen und Tiefenlagen verfügt, von denen zumindest ein Teil als potentielle Speicherräume für unterschiedliche Medien genutzt werden kann. Ein Teil dieser Lagerstätten wird seit vielen Jahren bereits erfolgreich als Erdgasspeicher genutzt. Die Lagerstätten befinden sich in den Bundesländern Salzburg, Oberösterreich, Niederösterreich und Wien. Für eine Abschätzung des potentiell zur Verfügung stehenden Speichervolumens von vollständig oder fast vollständig ausgeförderten Kohlenwasserstofflagerstätten müssen verschiedene Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Zu den ungünstigen Einflussfaktoren zählen beispielsweise eine zu geringe (und damit womöglich nicht wirtschaftliche) Größe der Felder, unerwünschte hydraulische Kommunikation zwischen Lagerstättenhorizonten innerhalb eines Feldes, oder ungünstige Lagerstättendruckbedingungen. Zu den günstigen Einflussfaktoren zählt beispielsweise die Tatsache, dass in den nächsten Jahren weitere Felder am Ende ihres Produktionszyklus stehen werden, was bedeutet, dass ständig potentielle neue Speicherfelder für verschiedene Medien zur Verfügung stehen werden. Erste vorsichtige Schätzungen zum vorhandenen  $CO_2$ -Speicherpotential in Kohlenwasserstofflagerstätten in Österreich ergaben, dass ein Volumen von 450 bis 500 Mio. t zur Verfügung stehen könnte. Diese Berechnungen haben einige

genannte positive, als auch negative Einflussfaktoren nicht berücksichtigt und geben daher nur einen ersten Anhaltspunkt (Scharf & Clemens, 2006). Eine aktuellere Studie zu diesem Thema ist bis dato nicht verfügbar. Weitere eingehende Datenakquisition und standortspezifische Untersuchungen vonseiten potentieller Projektwerber sind essentiell, um präzisere Schätzungen zum Speicherpotential ehemaliger Kohlenwasserstofflagerstätten abgeben zu können.

Eine erste Evaluierung zum Themenbereich „Identifizierung von geeigneten Gebieten beziehungsweise geologischen Strukturen und Formationen in Österreich“ konnte somit positiv abgeschlossen werden. Die Ergebnisse eines weiteren umfassenden Projekts des österreichischen Klima- und Energiefonds werden im August 2024 verfügbar sein. Dieses ACRP (Austrian Climate Research Programme) -Projekt hat unter anderem die Identifizierung und Quantifizierung von technischen Potentialen für CCS in Österreich gemäß dem Nationalen Energie- und Klimaplan (NECP) zum Ziel. Dabei geht es um die Ermittlung und Bewertung der im österreichischen Untergrund verfügbaren Speicherkapazitäten für CO<sub>2</sub>. Zu diesem Zwecke erfolgt eine Aufbereitung und Kategorisierung von verfügbarem Datenmaterial. Schließlich werden geeignete geologische Lagerstätten identifiziert und erstmals auf entsprechende Kapazität zur CO<sub>2</sub>-Speicherung bewertet. Im Zuge dessen wird ein Bewertungsschema auf Basis weltweiter „lessons learned“ entwickelt (CaCTUS, 2023).

Erst nach erfolgter geologisch-lagerstättenkundlicher Bewertung einer potentiellen Speicherstätte können weitere Bewertungskriterien – zB hinsichtlich Umwelt- und Ressourcenschonung, Wirtschaftlichkeit oder strategische Überlegungen – zur Lösung möglicher bestehender Nutzungskonflikte mit einbezogen werden.

Da österreichweit gesehen Datenqualität und Informationsdichte über den geologischen Untergrund selektiv (und damit für viele Nutzungsarten noch unzureichend) sind und Auswahlkriterien für derartige Entscheidungen nicht definiert sind, erscheint eine großräumige (Vor-)Auswahl beziehungsweise Festlegung von bestimmten Vorbehalts- oder Vorranggebieten zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich. Einen Anhaltspunkt für eine grobe geographische Lage potentieller geologischer Untergrundspeicher in Österreich liefern öffentlich verfügbare Karten der Geosphere Austria, sowohl zu Kohlenwasserstofflagerstätten (GSA, 2023) als auch zu salinaren Aquiferen (GBA, 2022).

Der aktuelle Evaluierungsbericht der deutschen Bundesregierung zum Kohlendioxid-Speicherungsgesetz (KSpG) führt zum Thema konkurrierende Nutzung aus, dass – unabhängig vom Speichermedium – ein Speicherkomplex so bemessen sein muss, dass (horizontal und vertikal) angrenzende nutzungen im Untergrund, sowie nutzungen an der Oberfläche nicht ausgeschlossen werden dürfen. Überdies führt der Bericht aus, dass eine

Stockwerknutzung des Untergrundes sowie eine Überlagerung von verschiedenen Untergrundnutzungen mit oberflächigen Nutzungen und Funktionen grundsätzlich (geo-) technisch möglich erscheint (Deutscher Bundestag, 2022). Die gleichzeitige Nutzung von Oberfläche und geologischem Untergrund ist bei Nutzung von Kohlenwasserstoffen seit vielen Jahrzehnten bewährte und sichere Praxis.

## 5.6 Potentielle Umweltauswirkungen

In Österreich ist für Speicherstätten zur geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub>, gemäß § 3 Anhang 1 Spalte 1 Z 29a UVP-G 2000, BGBl. 697/1993, eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen. Durch eine solche Prüfung werden auf fachlicher Grundlage alle unmittelbaren und mittelbaren Auswirkungen eines geplanten Vorhabens auf Mensch und Umwelt (Tiere, Pflanzen und deren Lebensräume, Boden, Wasser, Luft, Klima, Sach- und Kulturgüter) beschrieben und bewertet. Ebenso sind alle Maßnahmen zu prüfen, durch die schädliche, belästigende, oder belastende Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt verhindert, verringert oder günstige Auswirkungen des Vorhabens vergrößert werden können.

Darüber hinaus regelt auf europäischer Ebene die CCS-RL (Kapitel 2.1) die geologische Speicherung von CO<sub>2</sub>. Diese Richtlinie beinhaltet umfangreiche Vorgaben zum Prozess der Auswahl und Erschließung einer Speicherstätte, zum Umgang mit Leckagen und Vorschriften für Betreiber zur Überwachung der Speicherstätten während des Betriebes und nach der Schließung der Speicher. Die CCS-RL ist auf nationaler Ebene verpflichtend umzusetzen.

Umweltauswirkungen durch diffuse CO<sub>2</sub>-Austritte oder größere Schadensereignisse können grundsätzlich entlang der gesamten CCS-Prozesskette, von der Abscheidungsanlage, über den Transport, bis hin zur Speicherung (siehe Kapitel 5.1-5.3), auftreten.

Wenn CO<sub>2</sub>-gesättigtes Formationswasser aus dem Speicherkomplex ungewollt (über geologische Störungen oder undichte Bohrungen) nach oben steigt, kann es mit nutzbarem Grundwasser in Kontakt treten. Neue wissenschaftliche Studien (zB Derakhshan-Nejad et al., 2019) zu diesem Thema zeigen, dass es dann zu mineralogischen Lösungs- und Ausfällungerscheinungen im Umgebungsgestein des Grundwasserleiters sowie zu einer Änderung des pH-Wertes im Grundwasser kommen kann. Art und Ausmaß solcher Änderungen sind von der Lithologie des Umgebungsgesteins (zB silikatisch versus karbonatisch) abhängig und können mit den genannten Überwachungstechnologien (Kapitel 5.3) adäquat detektiert und quantifiziert werden. Die Studien zeigen auch, dass die geochemische Reaktivität, das heißt Änderungen hinsichtlich Lösung/Ausfällung und

Wasserchemie, in den ersten Tagen und Wochen nach Beginn einer CO<sub>2</sub>-Leckage größer sind und dann signifikant abnehmen (Jeong et al., 2020). Das größte Risiko für geochemische Änderungen in der mineralogischen Zusammensetzung des Umgebungsgesteins (Mobilisationsrisiko) besteht innerhalb eines Bereichs von zwei bis vier Metern vom Punkt des CO<sub>2</sub>-Austritts (Forberg et al., 2019). Während deutliche Leckagen an einer Stelle mit sorgfältig ausgewählten Überwachungsmethoden gut quantifiziert werden können und damit das Risiko beherrschbar ist, ist es eine größere Herausforderung, kleinräumige Leckagen mit geringen Austrittsmengen zu lokalisieren. Daher muss in dicht besiedelten Gebieten die Überwachung entsprechend engmaschiger ausgelegt sein. Auf generelle Anforderungen zur Überwachung von Speichern wird in der entsprechenden Norm näher eingegangen (ISO 27914, 2017).

Unter dem Begriff „induzierte Seismizität“ (siehe auch Kapitel 5.3) versteht man im Grunde genommen durch anthropogene Aktivität ausgelöste kleine Erdbeben. Sie können infolge von Eingriffen des Menschen in den geologischen Untergrund, sei es durch Tunnelbau, Tiefbau, Bergbau, Geothermie, Kohlenwasserstoffgewinnung oder auch durch die geologische Speicherung von CO<sub>2</sub>, entstehen. In der Bandbreite der Stärken von seismischen Ereignissen erreichen die vom Menschen „induzierten“ Ereignisse fast nie die Stärken natürlicher Erdbeben. Das liegt unter anderem daran, dass die vom Menschen ausgelösten Beben in vergleichsweise geringen Tiefen auftreten, wo die im Spannungsfeld gespeicherte Energie oder auch der zur Verfügung stehende Raum nicht zur Erzeugung großräumiger Bruchvorgänge ausreicht. Die überwiegende Mehrzahl „induzierter“ Ereignisse wird nur von Geräten aufgezeichnet und nicht gespürt (Deutscher Bundesverband Geothermie, 2022).

Von der internationalen Energieagentur IEA wurde jüngst eine Studie in Auftrag gegeben mit dem Ziel, das mögliche Risiko und Ausmaß von induzierter Seismizität in CO<sub>2</sub>-Speicherstätten zu erfassen, dessen Auswirkungen zu analysieren und Strategien für das Risiko-Management zu erarbeiten (Hosseini et al., 2022). Für die Studie wurden weltweit insgesamt 36 CO<sub>2</sub>-Speicherstätten unterschiedlicher Art (salinare Aquifere, ausgeforderte Erdöl- und Erdgaslagerstätten, EOR-Projekte) ausgewählt. Die Beobachtungszeiträume der seismischen Überwachung und Dokumentationen von Erschütterungen reichten je nach Projekt von wenigen Jahren bis zu Jahrzehnten. Die Studie kommt zu folgenden Ergebnissen:

- Bei keinem der Projekte gab es seismische Ereignisse, die für den Betrieb oder die Weiterführung des Projekts problematisch gewesen wären.
- In einigen Fällen konnten Ereignisse geringer Stärke nur mithilfe modernster Messmethoden aufgezeichnet werden. Der Zeitpunkt dieser Ereignisse korreliert zumeist mit Zeiten erhöhter Injektionsraten.

- Ein für Menschen spürbares Ereignis wurde nur in einem der 36 Projekte dokumentiert.
- Keines der 36 Projekte stellt ein großes Risiko für Mensch oder Umwelt durch induzierte Seismizität dar.

Zusammenfassend wird im Rahmen der Studie festgehalten, dass das Risiko induzierter Seismizität durch die Injektion von CO<sub>2</sub> in den geologischen Untergrund gering ist und sich nicht von technischen Projektunsicherheiten anderer Vorhaben vergleichbarer Größe unterscheidet.

## 6 Conclusio

Österreich strebt das Ziel an, bis zum Jahr 2040 klimaneutral zu sein (siehe Kapitel 2.2). Dafür müssen zuerst die Treibhausgasemissionen soweit wie möglich gesenkt werden und schließlich bilanziell durch natürliche und technische Senken ausgeglichen werden („Netto-Null“).

Mittels technischer Senken soll es „hard-to-decarbonize“-Sektoren möglich sein, ihre Restemissionen abzuscheiden und dauerhaft zu speichern (CCS) oder dauerhaft weiter zu nutzen (CCU). Dabei können durch den energetischen Einsatz von Biomasse zusätzliche negative Emissionen geschaffen werden.

Aktuelle Klimaneutralitätsstudien legen meist eine klare Hierarchie zugrunde, wonach CO<sub>2</sub>-Vermeidung und Ersatz durch neue Technologien Vorrang vor dem Einsatz der CO<sub>2</sub>-Abscheidung haben (Deutscher Bundestag, 2022). Trotzdem wird laut den neuesten Berichten des Weltklimarats IPCC und der Internationalen Energieagentur IEA auch eine Verfolgung der CDR/CCUS-Strategie zur Einhaltung der langfristigen Ziele des Übereinkommens von Paris sehr wichtig sein (zB IPCC, 2022; IEA, 2021(2)). Hier geht es wie erwähnt vor allem um Emissionen aus Industriebereichen, in denen CO<sub>2</sub>-neutrale Technologien technisch nicht oder nur schwer zu implementieren sind („hard-to-decarbonize-Sektoren“). Die Carbon Management Strategie (CMS) der Bundesregierung schafft die notwendigen Rahmenbedingungen, um in einem schrittweisen Ansatz die Technologien zu CCUS und CDR in Zukunft in Österreich zu ermöglichen. .

Der Evaluierungsbericht zum Bundesgesetz über das Verbot der geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub> von 2018 (BMNT, 2018) kam zum Schluss, dass es für eine dauerhafte geologische Speicherung von CO<sub>2</sub> in Österreich weiterer Forschung- und Entwicklungsschritte bedürfe. Daher sah man zu diesem Zeitpunkt keinen Bedarf einer Änderung des Gesetzes.

Seit 2018 wurden viele neue Ergebnisse und Informationen aus nationalen und internationalen wissenschaftlichen Studien, Pilot- und Demonstrationsprojekten sowie aus neu in Betrieb gegangenen kommerziellen Speicherprojekten veröffentlicht. Dazu gehören neben neuen Erkenntnissen in den Bereichen Lagerstättenintegrität, Bohrlochintegrität und Überwachungstechnologien auch spezifische österreichische Forschungsprojekte (siehe Kapitel 5.1 und 5.5). Österreich verfügt über geologische Speichermöglichkeiten sowohl in ausgeförderten Kohlenwasserstofflagerstätten als auch potentiell in salinaren Aquiferen. Erste Studien zur Identifizierung und Quantifizierung des Potentials der geologischen

Formationen als Speicher für unterschiedliche Speichermedien sowie deren Eignung für Tiefen-Geothermie haben bereits stattgefunden (zB Scharf & Clemens, 2006; ATES, 2021; GBA, 2022), weitere diesbezügliche Studien sind zur Zeit der Verfassung dieses Berichts im Laufen (zB CaCTUS, 2023). Anhand weiterführender standortspezifischer Vorerkundungen wird es möglich sein, geologische Strukturen auf ihre spezifischen Nutzungsmöglichkeiten zu bewerten. Diese Vorerkundungen sind in jedem Fall durchzuführen, unabhängig davon ob es sich um (ehemalige) Kohlenwasserstofflagerstätten oder um salinare Aquifere handelt. Gemeinsam mit einer geeigneten Risikoabschätzung bilden sie die Grundlage für die bestmögliche Auswahl geeigneter Speicherstrukturen zu einer sicheren – insbesondere auch auf Unversehrtheit von Mensch und Umwelt Bedacht nehmenden – langfristigen und effizienten geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub>.

Erst nach erfolgter geologisch-lagerstättenkundlicher Bewertung einer potentiellen Speicherstätte können weitere Bewertungskriterien, z.B. hinsichtlich Umwelt- und Ressourcenschonung, Wirtschaftlichkeit oder strategische Überlegungen, zur Lösung eines möglichen Nutzungskonfliktes mit einbezogen werden. Eine effiziente Nutzung der Untergrundstockwerke, auch in Kombination mit oberflächigen Funktionen, erscheint grundsätzlich (geo-)technisch möglich (Deutscher Bundestag, 2022).

Aufgrund der sich erfolgreich in Betrieb befindlichen kommerziellen CCS-Projekte, sowohl am Festland als auch als untermeerische Speicher, und zahlreicher internationaler Forschungsaktivitäten zu verschiedenen Aspekten der geologischen CO<sub>2</sub>-Speicherung (inklusive EHR), ist der Kenntnisstand zur technischen Durchführung von solchen Projekten hoch. Der Speicheroption in salinaren Aquiferen wird der höchstmögliche technologische Reifegrad (TRL) von 9 zugeordnet, der Speicheroption in ausgeforderten Kohlenwasserstofflagerstätten ein TRL von 7 (Bui et al., 2018; Kearns et al., 2021). Auch die Technologien für den Transport von CO<sub>2</sub> via Pipeline oder Schiff weisen den höchsten technologischen Reifegrad von 9 auf (Bui et al., 2018).

Von technischer Seite sind also die Voraussetzungen zur Schaffung der rechtlichen Rahmenbedingungen für die Durchführung derartiger Projekte in Österreich gegeben. Laut dem technischen Beratungsgremium für die EU-Kommission zum Thema CCS (ZEP – Zero Emissions Platform) ist die Nachfrage nach Speichermöglichkeiten bereits heute größer als die angestrebten Ausbaupläne der Speicherstätten (ECCSEL, 2022). Das heißt auch für Österreich, dass der Bedarf zur Speicherung schwer vermeidbarer CO<sub>2</sub>-Emissionen signifikant über die derzeit erlaubte speicherbare Menge von 100 000 t hinausgeht. Aktuelle Analysen des wissenschaftlichen Beirats zur österreichischen Carbon Management Strategie (CMS) gehen davon aus, dass selbst 2040 die residualen fossilen und geogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Industrie, je nach Szenario, zwischen 4,4 und 12,1 Mio. Tonnen pro Jahr betragen. Die im

aktuellen Diskurs genannten untermeerischen Speichermöglichkeiten in der Nordsee werden aufgrund der erwarteten Nachfrage und im Hinblick auf eine sehr starke Abhängigkeit von Speicherstätten in nur wenigen Staaten nicht ausreichend sein (Deutscher Bundestag, 2022). Der großvolumige Transport zu den Speicherstätten in der Nordsee ist abhängig von einer CO<sub>2</sub>-Rohrleitungsinfrastruktur, die derzeit weder in Österreich noch Deutschland existiert. Die Verwirklichung von Infrastrukturprojekten in dieser Größenordnung können Jahrzehnte dauern. Bis dahin müssen die abgeschiedenen Restemissionen entweder per Tankschiff oder Tankwaggon zu internationalen Speicherstätten gebracht werden. Hier könnten die Transportwege durch die Erschließung nationaler Speicherstätten erheblich verkürzt werden.

## 7 Empfehlung-----

Nach Ansicht der Bundesregierung besteht Bedarf nach einer Änderung des Bundesgesetzes über das Verbot der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid. **So empfiehlt die Bundesregierung dem Nationalrat, in Zukunft die geologische Speicherung von CO2 aus schwer bzw. nicht vermeidbare, prozessbedingte Emissionen (Rest- bzw. Residualemissionen) aus „hard to abate“- Sektoren unter strengen Sicherheits- und Umweltauflagen zuzulassen.**

In diesem Zusammenhang hält die Bundesregierung unter Berücksichtigung der Erkenntnisse der Carbon Management Strategie (CMS) weiters fest:

- Kosteneffektive nationale Maßnahmen zur Minderung und Vermeidung von Treibhausgasemissionen und zur Effizienzsteigerung haben, ebenso wie die effiziente Bewirtschaftung von natürlichen Senken, weiterhin absolute Priorität („mitigation first“-Prinzip) bei der Einhaltung der Klima- und Energieziele der Republik.
- Für schwer bzw. nicht vermeidbare, prozessbedingte Emissionen (Rest- bzw. Residualemissionen) in „hard to abate“- Sektoren und unter strengen Sicherheits- und Umweltauflagen, kann die Abscheidung und geologische Speicherung von CO2 jedoch einen wichtigen strategischen Beitrag zur Erreichung der Klimaneutralität leisten.
- Für eine klare Abgrenzung jener Emissionen, die aus Sicht der Bundesregierung für die Abscheidung und geologische Speicherung von CO2 geeignet sind, wird auf die „hard to abate“-Definition und den daraus abgeleiteten Anwendungsbereich der Definition („Scope“) gemäß der österreichischen Carbon Management Strategie verwiesen.
- Gemäß den Begriffsbestimmungen in § 1 des Bundesgesetzes über das Verbot der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid betrifft eine Aufhebung des Verbots die „Exploration“ und „geologische Speicherung von Kohlenstoffdioxid“. Im gegebenen Zusammenhang wird explizit darauf hingewiesen, dass bis zur Neugestaltung dieses Rechtsbereiches die bisherige Rechtslage unverändert gelten wird.
- Der Weltklimarat IPCC nennt u.a. die dauerhafte Entnahme von Treibhausgasen aus der Atmosphäre durch technische und natürliche Verfahren (CDR - siehe Kapitel 1.1) als eine der Säulen, die zu verfolgen ist, um kosteneffektiv ein Voranschreiten des anthropogenen Klimawandels hintanzuhalten.

Die dauerhafte geologische Speicherung von CO<sub>2</sub> in Österreich soll umfassend vorbereitet werden:

- Damit der Einstieg Österreichs in die geologische Speicherung von CO<sub>2</sub> gelingt und diese Technologie einen Beitrag zur Klimaneutralität und zum Fortbestand einer wettbewerbsfähigen nationalen Industrie leisten kann, hat die Bundesregierung die Notwendigkeit erkannt, sie als einen von vielen zusammenwirkenden Aspekten (beispielsweise neben Abscheidung, Transport, CCU) in die nationale Carbon Management Strategie (CMS) aufzunehmen.  
Für die Schaffung klarer Rahmenbedingungen, um etwaige Nutzungskonflikte aufzulösen, sind Kriterien zur Priorisierung von Projekten bei potentiell **konkurrierender Nutzung im geologischen Untergrund** auszuarbeiten. Die Erarbeitung der Kriterien zur Priorisierung hat auf Basis unabhängiger, wissenschaftlicher Analysen zu erfolgen. Als Grundlage für die Bewertung sind u.a. die Klimaziele und die langfristige Transformation des Energiesystems heranzuziehen.
- Für einen effizienten Hochlauf der CCS-Technologie in Österreich sind Studien auf verschiedenen Forschungsebenen, Pilot- und Demoprojekte durchzuführen sowie Reallabore über die gesamte Wertschöpfungskette aufzubauen. Die dafür notwendigen Maßnahmen sind der Carbon Management Strategie zu entnehmen.

Gemeinsam mit diesem Bericht wird im Sinne des diesbezüglichen gesetzlichen Auftrages (§ 4 Abs. 2 des Bundesgesetzes über das Verbot der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid) ein Konzept betreffend die erforderlichen Maßnahmen bei Aufhebung des Verbots vorgelegt (siehe Kapitel 10 - Beilage).

## 8 Referenzen

Alcade, J., Flude, S., Wilkinson, M., Johnson, G., Edlmann, K., Bond, C., Scott, V., Gilfillian, S.M.V., Ogaya, X. & Haszeldine R.S., 2018, Estimating geological CO<sub>2</sub> storage security to deliver on climate mitigation: Nature Communications 9, Article no. 2201, 13 p.

ATES, 2021, ATES (Aquifer Thermal Energy Storage) Vienna - Projekt der Wien Energie GmbH: Abgerufen am 11. 09. 2023 von <https://projekte.ffg.at/projekt/3849155>

Benson, S. & Cook, P., 2005, Underground geological storage, in Metz et al. IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage: Cambridge University Press, p. 195-276.

BMNT, 2018, Evaluierungsbericht der Bundesregierung zu 40/15 gemäß § 4 des Bundesgesetzes über das Verbot der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid: Abgerufen am 11. 09. 2023 von [https://www.bundeskanzleramt.gv.at/dam/jcr:063de90b-bd11-4751-a74f-a8ba54f44177/40\\_15\\_evalu.pdf](https://www.bundeskanzleramt.gv.at/dam/jcr:063de90b-bd11-4751-a74f-a8ba54f44177/40_15_evalu.pdf)

BMNT, 2019, Langfriststrategie 2050 – Österreich (gemäß Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates über das Governance-System für die Energieunion und den Klimaschutz): Abgerufen am 11. 09. 2023 von [https://www.bmk.gv.at/themen/klima\\_umwelt/klimaschutz/aktives-handeln/lts2050.html](https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/aktives-handeln/lts2050.html)

Bui, M., Adjiman, C., Bardow, A., Anthony, E., Boston, A., Brown, S., Fennell, P., Fuss, S., Galindo, A., Hackett, L., Hallett J., Herzog, H., Jackson, G., Kemper, J., Krevor, S., Maitland, G., Matuszewski, M., Metcalfe, I., Petit, C., Puxty, G., Reimer, J., Reiner, D., Rubin, E., Scott, S., Shah, N., Smit, B., Trusler, J.P., Webley P., Wilcox, J. & Mac Dowell, N., 2018, Carbon capture and storage (CCS): the way forward: Energy and Environmental Science, 11, p. 1062-1176.

CaCTUS, 2023, Carbon Capture, Transformation, Utilization & Storage Project powered by Klima- und Energiefonds, Redaktion und Kontakt: CCCA (Climate Change Center Austria): Abgerufen am 11. 09. 2023 von <https://project-cactus.at/das-projekt/>

Climate Lab, 2023, Industry Circle for CCU: Präsentation Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Lehner, Lehrstuhl für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes, Montanuniversität Leoben.

CO<sub>2</sub> GeoNet, 2020, ENOS – Study on new pilot and demonstration project opportunities for CO<sub>2</sub> geological storage onshore in Europe, V11-final: Abgerufen am 11. 09. 2023 von [http://www.enos-project.eu/media/22619/d68\\_final-with-appendices\\_enos\\_653718.pdf](http://www.enos-project.eu/media/22619/d68_final-with-appendices_enos_653718.pdf)

CO<sub>2</sub> GeoNet, 2021, State-of-play on CO<sub>2</sub> geological storage in 32 European countries – an update: Abgerufen am 11. 09. 2023 von [http://www.CO2geonet.com/media/73750/CO2geonet\\_state-of-play-in-europe\\_2021.pdf](http://www.CO2geonet.com/media/73750/CO2geonet_state-of-play-in-europe_2021.pdf)

Derakhshan-Nejad, Z., Sun, J., Yun, S.T., Lee, G., 2019, Potential CO<sub>2</sub> intrusion in near-surface environments: a review of current research approaches to geochemical processes: Environmental Geochemistry and Health, 41, p. 2339-2364.

Deutscher Bundestag, 2022: Evaluierungsbericht der Bundesregierung über die Anwendung des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes. Abgerufen am 11. 09. 2023 von <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energiedaten/evaluierungsbericht-bundesregierung-kspg.html>

Deutscher Bundesverband Geothermie, 2022, Lexikon der Geothermie: Abgerufen am 11. 09. 2023 von <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/s/seismizitaet-induzierte.html>

ECCSEL, 2022, CCUS ZEN Project kick-off, European Research Infrastructure for CO<sub>2</sub> Capture, Utilisation, Transport and Storage (CCUS): Abgerufen am 11. 09. 2023 von <https://www.eccsel.org/news/projects/ccus-zen-project-kick-off-in-paris/>

ESA, 2022, Technology Readiness Level (TRL): Abgerufen am 11. 09. 2023 von [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Space\\_Engineering\\_Technology/Shaping\\_the\\_Future/Technology\\_Readiness\\_Levels\\_TRL](https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Shaping_the_Future/Technology_Readiness_Levels_TRL)

Europäische Kommission, 2009, Richtlinie 2009/31/EG des europäischen Parlaments und des Rates über die geologische Speicherung von Kohlendioxid: Abgerufen am 11. 09. 2023 von <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0114:0135:de:PDF>

Europäische Kommission, 2011, Guidance Document 2 zur Richtlinie 2009/31/EG: Characterisation of the Storage Complex, CO<sub>2</sub> Stream Composition, Monitoring and Corrective Measures.

Forberg, J., Gerber, L.A., Planer-Friedrich, B., 2019, Spatial distribution of metal(oid) depletion and accumulation zones around a natural carbon dioxide degassing site: Chemical Geology, 509(1).

Furre, A.K., Eiken, O., Alnes, H., Vevatne, J.N. & Kiaer, A.F., 2017, 20 years of monitoring CO<sub>2</sub>-injection at Sleipner: Energy Procedia 114, p. 3916-3926.

Furre, A.K., Meneguolo, R., Pinturier, L. & Bakke, K., 2020, Planning deep subsurface CO<sub>2</sub> storage monitoring for the Norwegian full-scale CCS project: First Break, Vol. 38, Issue 10, p. 55-60.

GBA, 2022, UELG-085 Projekt „Erhebung geologischer Speichermöglichkeiten in salinaren Aquiferen in Österreich“ der Geologischen Bundesanstalt Wien: Abgerufen am 11. 09. 2023 von [https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/UELG-085\\_Speichergesteine.pdf](https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/UELG-085_Speichergesteine.pdf)

GSA, 2023, GeoSphere Austria, Erdöl und Erdgas in Österreich: Abgerufen am 11. 09. 2023 von <https://www.geologie.ac.at/forschung-entwicklung/kartierung-landesaufnahme/energie/erdoel-und-erdgas>

GFZ Potsdam, 2017, Abschlussbericht des GEOTECHNOLOGIEN-Dachprojekts AUGE zur CO<sub>2</sub> Speicherung am Standort Ketzin: Abgerufen am 11. 09. 2023 von <https://www.bundestag.de/resource/blob/567342/f356ac5bb411dca92e8a18c8c3037c28/WD-8-055-18-pdf-data.pdf>

Gholami, R. & Raza, A., 2022, CO<sub>2</sub> sequestration in sandstone reservoirs: How does reactive flow alter trapping mechanisms?: Fuel, Vol 324, Part C, 124781.

Global CCS Institute, 2022, Global Status of CCS 2022: Abgerufen am 11. 09. 2023 von  
<https://status22.globalccsinstitute.com/>

Gluyas, J. & Mathias, S., 2013, Geological Storage of Carbon Dioxide; Geoscience, Technologies, Environmental Aspects and Legal Frameworks: Woodhead Publishing, 366 p.

Hopkins, J., Mateeva, A., Harvey, S., Kiyashchenko D. & Duan, Y., 2021, Maturing DAS VSP as an Onshore CCUS monitoring technology at the Quest CCS Facility: geoconvention Virtual Event, 5 p.

Hosseini, S.A., Hovorka, S.D., Savvaidis, A., Kavoura, F. & Nicot, J.P., 2022, Current state of knowledge regarding the risk of induced seismicity at CO<sub>2</sub> storage projects: IEA Greenhouse Gas R&D Technical Report 2022-02: Abgerufen am 11. 09. 2023 von  
<https://ieaghg.org/publications/technical-reports/reports-list/9-technical-reports/1065-2022-02-current-state-of-knowledge-regarding-the-risk-of-induced-seismicity-at-co2-storage-projects>

IEA, 2021, International Energy Agency Global Energy Review 2021: Abgerufen am 11. 09. 2023 von [https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021/CO<sub>2</sub>-emissions](https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021/CO2-emissions)

IEA, 2021(2), International Energy Agency Net Zero by 2050 Roadmap: Abgerufen am 11. 09. 2023 von <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

IPCC, 2022, Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Climate Change: Abgerufen am 11. 09. 2023 von  
[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SPM.pdf)

ISO 27914, 2017, Carbon dioxide capture, transportation and geological storage – Geological storage: Abgerufen am 11. 09. 2023 von <https://www.iso.org/standard/64148.html>

ISO/DIS 27920, 2020, Carbon dioxide capture, transportation and geological storage (CCS) – Quantification and Verification: Abgerufen am 11. 09. 2023 von  
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:27920:dis:ed-1:v1:en>

ISO/TR 27921, 2020, Carbon dioxide capture, transportation and geological storage – Cross Cutting Issues – CO<sub>2</sub> stream composition: Abgerufen am 11. 09. 2023 von <https://www.iso.org/standard/67273.html>

Jayasekara, D.W., Ranjith, P.G., Wanniarachchi, W.A.M. & Rathnaweera, T.D., 2020, Understanding the chemico-mineralogical changes of caprock sealing in deep saline CO<sub>2</sub> sequestration environments: A review study. The Journal of Supercritical Fluids, 161, 104819.

Jeong, J., Sung-Wook, J., Hyoun-Tae, H., Kang-Kun, L., 2020, Changes in geochemical composition of groundwater due to CO<sub>2</sub> leakage in various geological media: Water, 12(9), 2597.

Kaldi J., Daniel, R., Tenthorey, E., Michael, K., Schacht, U., Nicol, A., Underschultz, J. & Backe, G., 2013, Containment of CO<sub>2</sub> in CCS: Role of Caprocks and Faults: Energy Procedia, 37, p. 5403-5410.

Kearns, D., Liu, H. & Consoli, Ch., 2021, Technology Readiness and Costs of CCS: Global CCS Institute: Abgerufen am 11. 09. 2023 von <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/03/Technology-Readiness-and-Costs-for-CCS-2021-1.pdf>

KSpG, 2012, Gesetz zur Demonstration der dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid (Kohlendioxid-Speicherungsgesetz – KSpG der Bundesrepublik Deutschland): Abgerufen am 11. 09. 2023 von <https://www.gesetze-im-internet.de/kspg/BJNR172610012.html>

Kuckshinrichs, W. & Hake, J-F. (eds.), 2015, Carbon Capture, Storage and Use; Technical, Economic, Environmental and Societal Perspectives: Springer International Publishing Switzerland, 347 p.

Marini, L., 2006, Geological Sequestration of Carbon Dioxide: Thermodynamics, Kinetics, and Reaction Path Modeling: Elsevier Science 2006, 470 p.

Mohaghegh, S. D., Haghigat, A. & Amini, S., 2018, Data-driven Analytics for the Geological Storage of CO<sub>2</sub>: CRC Press, 302 p.

NASA, 2021, Technology Readiness Level Numbers: Abgerufen am 11. 09. 2023 von  
[https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology\\_readiness\\_level](https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology_readiness_level)

Ott, H., 2015, CO<sub>2</sub>-brine primary displacement in saline aquifers: experiments, simulations and concepts: RWTH Aachen – Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik, 260 p.

UNFCCC, 2016, Paris Agreement under the United Nations Framework Convention on Climate Change: Abgerufen am 11. 09. 2023 von  
[https://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf)

Rackley, S.A., 2017, Carbon Capture and Storage: Butterworth-Heinemann, 698 p.

REX-CO<sub>2</sub>, 2022, Re-using existing wells for CO<sub>2</sub> storage operations: Horizon 2020 Project No. 294766: Abgerufen am 11. 09. 2023 von <https://rex-CO2.eu/index.html>

Ringrose, P., 2020, How to store CO<sub>2</sub> underground: Insights from early-mover CCS projects: SpringerBriefs in Earth Sciences, Vol. 129.

Ringrose, P., Andrews, J., Zweigel, P., Furre, A.K., Hern, B. & Nazarian B., 2022, Why CCS is not like reverse gas engineering: First Break, Vol. 40, Issue 10, p. 85-91.

Ringstad, C. & Jordan, M., 2022, Emerging geophysical monitoring technologies for safe and cost-efficient CO<sub>2</sub> storage: SINTEF presentation on COSMOS R&D project „Controlled Source Electromagnetic Monitoring of CO<sub>2</sub> Storage Sites. Copenhagen.

Scharf, C. & Clemens, T., 2006, CO<sub>2</sub>-Sequestration Potential in Austrian Oil and Gas Fields: SPE Article 100176.

Schulze, F., Keimeyer, F., Schöne, R., Westphal, I., Janssen, G., Bartel, S. & Seiffert, S., 2015, Unterirdische Raumplanung – Vorschläge des Umweltschutzes zur Verbesserung der über- und untertägigen Informationsgrundlagen zur Ausgestaltung des Planungsinstrumentes und

zur nachhaltigen Lösung von Nutzungskonflikten Teil 2, UBA Texte, 57: Abgerufen am 11. 09. 2023 von <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/unterirdische-raumplanung-vorschlaege-des-0>

Shukla R., Pathegama, R., Haque, A. & Choi, X., 2010, A review of studies on CO<sub>2</sub> sequestration and caprock integrity: Fuel, 89, p. 2651-2664.

Skerbisch L., Misch, D., Drews, M., Stollhofen, H., Sachsenhofer, R.F., Arnberger, K., Schuller, V. & Zámolyi, A., 2022, Compaction Trends in the Vienna Basin: Regional top Seal Capacity Estimation and Evidence for Hydrocarbon Leakage: Sixth International Conference on Fault and Top Seals, Wien, September 2022.

## 9 Anhänge

Tabelle 1: CCS Industrieprojekte seit 2018 in Betrieb/im Bau

Projekt	Lage	Jahr der Inbetriebnahme	Status	Injektionsvolumen [Mio. to/a]	Zweck	Herkunft Kohlenstoffdioxid	Referenzen
GORGON CARBON DIOXIDE INJECTION	Australien	2019	in Betrieb	4,00	Dauerhafte Speicherung	Erdgasaufbereitung	<a href="https://australia.chevron.com/our-businesses/gorgon-project/carbon-capture-and-storage">https://australia.chevron.com/our-businesses/gorgon-project/carbon-capture-and-storage</a>
QATAR LNG CCS	Qatar	2019	in Betrieb	2,20	Dauerhafte Speicherung	Erdgasaufbereitung	<a href="https://www.aa.com.tr/en/energy/projects/qatar-to-store-more-than-5m-tonnes-of-co2-a-year-by-2025/26924">https://www.aa.com.tr/en/energy/projects/qatar-to-store-more-than-5m-tonnes-of-co2-a-year-by-2025/26924</a>
ORCA	Island	2021	in Betrieb	2,20	Dauerhafte Speicherung	Direkte Abscheidung aus der Luft (DAC)	<a href="https://climeworks.com/roadmap/orca">https://climeworks.com/roadmap/orca</a>
GLACIER GAS PLANT MCCS	Kanada	2022	in Betrieb	0,20	Dauerhafte Speicherung	Erdgasaufbereitung	<a href="https://entropyinc.com/glacier/">https://entropyinc.com/glacier/</a>
RED TRAIL ENERGY CCS	USA	2022	in Betrieb	0,20	Dauerhafte Speicherung	Ethanol-Produktion	<a href="https://undeerc.org/research/projects/redtrailenergyccs.html">https://undeerc.org/research/projects/redtrailenergyccs.html</a>
SANTOS COOPER BASIN CCS	Australien	2023	in Bau	1,70	Dauerhafte Speicherung	Erdgasaufbereitung	<a href="https://www.santos.com/wp-content/uploads/2022/02/Fact-sheet_Moomba_CCS.pdf">https://www.santos.com/wp-content/uploads/2022/02/Fact-sheet_Moomba_CCS.pdf</a>
MAMMOTH	Island	2024	in Bau	0,03	Dauerhafte Speicherung	Direkte Abscheidung aus der Luft (DAC)	<a href="https://climeworks.com/roadmap/mammoth">https://climeworks.com/roadmap/mammoth</a>
NORTHERN LIGHTS STORAGE	Norwegen	2024	in Bau	1,50	Dauerhafte Speicherung	Verschiedene	<a href="https://norlights.com/about-the-longship-project/">https://norlights.com/about-the-longship-project/</a>
OXY AND CARBON ENGINEERING DAC FACILITY	USA	2024	in Bau	0,50	Dauerhafte Speicherung	Direkte Abscheidung aus der Luft (DAC)	<a href="https://carbonengineering.com/">https://carbonengineering.com/</a>
LOUISIANA CLEAN ENERGY COMPLEX	USA	2026	in Bau	5,00	Dauerhafte Speicherung	Verschiedene	<a href="https://www.airproducts.com/campaigns/la-blue-hydrogen-project">https://www.airproducts.com/campaigns/la-blue-hydrogen-project</a>

**Anhang 2**

Tabelle 2: CCS Pilot- und Forschungsprojekte seit 2018

Projekt	Lage	Art des Projekts	Referenzen
HAVNSØ / GASSUM / RODY / STENLILLE / THORNING	Dänemark	Pilot	<a href="https://gasstorage.dk/CO2-storage/">https://gasstorage.dk/CO2-storage/</a>
BRADESTI	Rumänien	Pilot	<a href="http://www.enos-project.eu/media/22619/d68_final-with-appendices_enos_653718.pdf">http://www.enos-project.eu/media/22619/d68_final-with-appendices_enos_653718.pdf</a>
KENDERES	Ungarn	Pilot	<a href="http://www.enos-project.eu/media/22619/d68_final-with-appendices_enos_653718.pdf">http://www.enos-project.eu/media/22619/d68_final-with-appendices_enos_653718.pdf</a>
SAVA DEPRESSION	Kroatien	Pilot	<a href="https://www.mdpi.com/1996-1073/15/16/6066">https://www.mdpi.com/1996-1073/15/16/6066</a>
DZIWIE	Polen	Pilot	<a href="http://www.enos-project.eu/media/22619/d68_final-with-appendices_enos_653718.pdf">http://www.enos-project.eu/media/22619/d68_final-with-appendices_enos_653718.pdf</a>
VILKYCIAI	Litauen	Pilot	<a href="http://www.enos-project.eu/media/22619/d68_final-with-appendices_enos_653718.pdf">http://www.enos-project.eu/media/22619/d68_final-with-appendices_enos_653718.pdf</a>
CARBFIX SEAWATER PILOT	Island	Pilot	<a href="https://www.carbfix.com/carbfix-tests-using-seawater">https://www.carbfix.com/carbfix-tests-using-seawater</a>
CARBFIX NESJAVELLIR PILOT INJECTION	Island	Pilot	<a href="https://www.carbfix.com/geothermalenergy">https://www.carbfix.com/geothermalenergy</a>
CARBFIX SORPA PILOT	Island	Pilot	<a href="https://www.carbfix.com/waste-management">https://www.carbfix.com/waste-management</a>
SILVERSTONE CCMS	Island	Pilot	<a href="https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-07/if_pf_2021_silverstone_en.pdf">https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-07/if_pf_2021_silverstone_en.pdf</a>

Projekt	Lage	Art des Projekts	Referenzen
CO2SEASTONE PILOT	Island	Pilot	<a href="https://www.carbfix.com/co2-seastone">https://www.carbfix.com/co2-seastone</a>
MOF4AIR	Türkei	Pilot	<a href="https://www.turkcimento.org.tr/en/sub_units/mof4air-project">https://www.turkcimento.org.tr/en/sub_units/mof4air-project</a>
SUCCEED	Türkei	Pilot	<a href="https://static1.squarespace.com/static/5672ab009cadb60e553e3529/t/62c54224e11c0359ebe396c9/1657094713209/SUCCEED+Rotterdam+ACT+Workshop.pdf">https://static1.squarespace.com/static/5672ab009cadb60e553e3529/t/62c54224e11c0359ebe396c9/1657094713209/SUCCEED+Rotterdam+ACT+Workshop.pdf</a>
PILOTSTRATEGY (LUSITANIAN BASIN)	Portugal	Forschung	<a href="https://pilotstrategy.eu/sites/default/files/inline-files/PilotSTRATEGY%20Briefing%20Document_0.pdf">https://pilotstrategy.eu/sites/default/files/inline-files/PilotSTRATEGY%20Briefing%20Document_0.pdf</a>
STRATEGY CCUS (EBRO BASIN)	Spanien	Forschung	<a href="https://www.strategyccus.eu/about-project/regions/ebro-basin-spain">https://www.strategyccus.eu/about-project/regions/ebro-basin-spain</a>
STRATEGY CCUS (RHONE BASIN)	Frankreich	Forschung	<a href="https://www.strategyccus.eu/about-project/regions/rh%C3%B4ne-valley-france">https://www.strategyccus.eu/about-project/regions/rh%C3%B4ne-valley-france</a>
PILOTSTRATEGY (PARIS BASIN)	Frankreich	Forschung	<a href="https://pilotstrategy.eu/sites/default/files/inline-files/PilotSTRATEGY%20Briefing%20Document_0.pdf">https://pilotstrategy.eu/sites/default/files/inline-files/PilotSTRATEGY%20Briefing%20Document_0.pdf</a>
CO2SERRE (ORLEANS)	Frankreich	Forschung	<a href="https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3812275">https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3812275</a>
CO2-DISSOLVED (CENTRE VAL DE LOIRE REGION)	Frankreich	Forschung	<a href="https://co2-dissolved.brgm.fr/">https://co2-dissolved.brgm.fr/</a>
PYCASSO	Frankreich	Forschung	<a href="https://www.pycasso-project.eu/en/the-pycasso-project/why-pycasso-in-6-axes/">https://www.pycasso-project.eu/en/the-pycasso-project/why-pycasso-in-6-axes/</a>
GALATI	Rumänien	Forschung	<a href="https://ccs4cee.eu/wp-content/uploads/2021/11/CCS4CEE-Romania.pdf">https://ccs4cee.eu/wp-content/uploads/2021/11/CCS4CEE-Romania.pdf</a>

Projekt	Lage	Art des Projekts	Referenzen
LATERA	Italien	Forschung	<a href="http://www.eccselnatlabitaly.it/">http://www.eccselnatlabitaly.it/</a>
INSURANCE PROJECT	Schweden	Forschung	<a href="https://www.ltu.se/research/subjects/Malmgeologi/Forskningsprojekt/CO2-INSURANCE?l=en">https://www.ltu.se/research/subjects/Malmgeologi/Forskningsprojekt/CO2-INSURANCE?l=en</a>
SPICER	Tschechien	Forschung	<a href="https://co2-spicer.geology.cz/en">https://co2-spicer.geology.cz/en</a>
ELEGANCY	Schweiz	Forschung	<a href="https://www.sintef.no/projectweb/elegancy/">https://www.sintef.no/projectweb/elegancy/</a>
SVELVIK CO2 FIELD LAB	Norwegen	Forschung	<a href="https://eccsel.org/media/111430/eccsel-eric-fact-sheet-no312-svelvikco2fieldlab.pdf">https://eccsel.org/media/111430/eccsel-eric-fact-sheet-no312-svelvikco2fieldlab.pdf</a>

# 10 Beilage

## KONZEPT

**betreffend die erforderlichen gesetzgeberischen Maßnahmen bei Aufhebung des Verbots der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid**

### 1. Gesetzlicher Auftrag

- Aufgrund *des Bundesgesetzes über das Verbot der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid*, BGBl. I Nr. 144/2011, ist seit 29. Dezember 2011 im gesamten österreichischen Bundesgebiet die dauerhafte Speicherung von Kohlenstoffdioxid – mit einigen wenigen Ausnahmen – **verboden**.
- Gemäß § 4 Abs. 1 leg. cit. hat die Bundesregierung bis 31. Dezember 2018 und danach im Abstand von jeweils fünf Jahren einen Bericht über die **Evaluierung** dieses Verbotes unter besonderer Berücksichtigung der international gewonnenen Erfahrungen dem Nationalrat vorzulegen.
- In Erfüllung dieser gesetzlichen Verpflichtung wurde erstmalig Ende 2018 dem Nationalrat ein Evaluierungsbericht vorgelegt, mit dem die Prolongierung des Speicherungsverbotes empfohlen wurde.
- Mit Ablauf des Jahres 2023 muss die Bundesregierung dem Nationalrat einen weiteren Evaluierungsbericht vorlegen.
- In diesem zweiten Evaluierungsbericht soll ausgeführt werden, dass aus fachlicher Sicht das Verbot der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid für die von der Empfehlung des gegenständlichen Evaluierungsberichts umfassten hard-to-abate-Emissionen in der Definition gemäß Carbon Management Strategie aufgehoben werden sollte.
- Aufgrund der empfohlenen Aufhebung des derzeit geltenden allgemeinen Verbots der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid wären bestimmte gesetzgeberische Maßnahmen erforderlich (siehe dazu gleich unten). Daher hat die Bundesregierung gemeinsam mit diesem Evaluierungsbericht dem Nationalrat auch die entsprechenden "Entwürfe" für diese erforderlichen **gesetzgeberischen Maßnahmen** vorzulegen (vergleiche § 4 Abs. 2 des Bundesgesetzes BGBl. I Nr. 144/2011).

## 2. Unionsrechtlicher Rahmen

Die **Richtlinie 2009/31/EG** über die geologische Speicherung von Kohlendioxid, ABl. L 140 vom 05.06.09 S. 114-135 (CCS-RL), gibt den unionsrechtlichen Rahmen der in Aussicht genommenen gesetzgeberischen Maßnahmen vor.

Da mit dem Bundesgesetz BGBl. I Nr. 144/2011 Österreich von der in dieser Richtlinie vorgesehenen Möglichkeit, die Speicherung von Kohlenstoffdioxid im gesamten Bundesgebiet zu verbieten, Gebrauch gemacht hatte, mussten damals nur einige wenige Bestimmungen der Richtlinie 2009/31/EG in nationales Recht umgesetzt werden.

Wenn jedoch die Speicherung von Kohlenstoffdioxid in Österreich künftig zulässig sein soll, so muss zwingend die Richtlinie 2009/31/EG **vollständig** in nationales Recht umgesetzt werden.

Dieser Umsetzungsakt muss – an und für sich eine Selbstverständlichkeit – in das einschlägige nationale Rechtsgefüge systemkonform eingefügt werden.

## 3. Legistische Maßnahmen

Die Schaffung von Vorschriften für die *geologische Speicherung von Kohlenstoffdioxid* für die von der Empfehlung im gegenständlichen Evaluierungsbericht umfassten hard-to-abate Emissionen (gemäß Definition der Carbon Management Strategie) und die damit erforderliche vollständige Umsetzung der Richtlinie 2009/31/EG in nationales Recht wird im Wege eines **eigenen Bundesgesetzes** mit dem beispielhaften Titel „*Bundesgesetz über die geologische Speicherung von Kohlenstoffdioxid*“ durch den für das Bergwesen zuständigen Bundesminister oder die für das Bergwesen zuständige Bundesministerin erfolgen.

In diesem Zusammenhang wäre jedenfalls **auch** Folgendes erforderlich:

- Aufhebung des derzeit geltenden allgemeinen Verbots der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid
- Prüfung der Notwendigkeit von Novellierungen anderer in diesem Zusammenhang relevanter Rechtsmaterien
- Bedachtnahme auf Anhang 1 Z 29a zum UVP-G 2000 (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 t zu Forschungszwecken oder zur Entwicklung oder Erprobung neuer Produkte und Verfahren.) – diese Vorhaben sind jedenfalls UVP-pflichtig.

#### 4. Zeitlicher Rahmen

Unter Berücksichtigung des Zeitaufwandes, der für die Ausarbeitung und Abstimmung eines Gesetzesentwurfes für diese komplexe Materie erforderlich sein wird, wird derzeit davon ausgegangen, dass die Erlassung entsprechender bundesgesetzlicher Regelungen bis **Mitte 2025** möglich sein wird. Das für das Bergwesen zuständige Ressort hat bereits mit grundsätzlichen systemischen Überlegungen begonnen. Im Sinne der Erkenntnisse der Carbon Management Strategie, wird es die in Ziffer 3 umschriebenen erforderlichen legistischen Maßnahmen ehestmöglich vorlegen, um – wie bereits erwähnt – unter Bedachtnahme auf das Durchlaufen des notwendigen Abstimmungsprozesses auf fachlicher und politischer Ebene das angestrebte zeitliche Ziel zu erreichen.

#### 5. Punktation möglicher Regelungsbereiche auf Basis der CCS-RL

- Zweck, Anwendungsbereich, Begriffsbestimmungen
- Auswahl von Speicherstätten
  - Priorisierung bei konkurrierenden Nutzungen (geologisch, wirtschaftlich, strategisch)
  - Explorationsgenehmigung, Speichergenehmigung
    - Antragsunterlagen, Genehmigungstatbestände, Genehmigungsinhalte
    - Parteien und Beteiligte
    - Überprüfung der Genehmigungsentwürfe durch die Europäische Kommission
    - Änderungen, Überprüfung, Aktualisierung, Entzug von Genehmigungen
- Kriterien und Verfahren für die Annahme eines CO<sub>2</sub>-Stroms
- Überwachung, Berichterstattung durch den Betreiber, Inspektionen
- Maßnahmen im Falle von Leckagen oder erheblichen Unregelmäßigkeiten
- Stilllegung und Nachsorgeverpflichtungen
- Übertragung der Verantwortung
- Finanzielle Sicherheit, Finanzierungsmechanismus

- Streitbeilegung, grenzüberschreitende Zusammenarbeit
- Register, Information der Öffentlichkeit
- Schlussbestimmungen: Behörde, Aufhebung des Verbots der geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid für die gemäß Empfehlung geeigneten hard-to-abate Emissionen (gemäß der Definition der Carbon Management Strategie), allfällige Übergangsbestimmungen, Strafbestimmungen, Umsetzungshinweis
- Anhang I und II der CCS-RL



**Bundesministerium für Finanzen**

Johannesgasse 5, 1010 Wien

+43 1 514 33-0

[email@bmf.gv.at](mailto:email@bmf.gv.at)

**bmf.gv.at**

