



MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Carbon Management Strategien: Ein Vergleich der DACH-Region

verfasst von | submitted by
Philipp Hagen BA

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Arts (MA)

Wien | Vienna, 2025

Studienkennzahl lt. Studienblatt | Degree
programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 066 589

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Internationale Entwicklung

Betreut von | Supervisor:

Dr. Etienne Schneider BA MA

Abstract

Die vorliegende Masterarbeit untersucht die Ansätze Deutschlands, Österreichs und der Schweiz im Bereich Carbon Management und vergleicht sie systematisch entlang zentraler Dimensionen wie Begriffe und Konzepte, Risiken, Zugang, Förderung und Umsetzung. Besonderes Augenmerk liegt auf der Schweiz, deren Carbon-Management-Strategie frühzeitig rechtlich verankert wurde und eine strategische Nutzung von CCS- und NET-Technologien vorsieht. Die Analyse zeigt, dass alle drei Länder Carbon Management zunehmend als integralen Bestandteil ihrer Klimapolitik betrachten, jedoch unterschiedliche Governance- und Umsetzungsansätze verfolgen. Während Deutschland auf industriepolitische Steuerung und sektorale Differenzierung setzt, verfolgt Österreich einen vorsichtigen, wissenschaftlich fundierten Öffnungsansatz. Die Arbeit thematisiert zudem zentrale sozialwissenschaftliche Problemlagen wie Carbon Lock-in und Mitigation Deterrence und untersucht explorativ, inwieweit politische Dokumente der Schweiz mögliche Socio-technical Imaginaries abbilden. Die Ergebnisse verdeutlichen Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der DACH-Region und liefern eine Basis für weiterführende Forschung zur institutionellen und politischen Gestaltung von Carbon-Management-Strategien.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	0
1.2 Aktueller Forschungsstand	4
1.3 Fragestellung	7
1.4 Theoretischer Ansatz	8
1.5 Methodisches Vorgehen.....	11
1.6 Technische Grundlagen	13
1.6.1 Carbon Management	13
1.6.2 Carbon Capture and Storage.....	14
1.6.3 Carbon Capture and Utilisation.....	15
1.6.4 Net-Zero	15
1.7 Sozialwissenschaftliche Perspektiven	16
1.7.1 Restemissionen.....	16
1.7.2 Mitigation Deterrence	16
1.7.3 Carbon Lock in.....	17
2. Hauptteil I.....	17
2.1 Datenbasis / Dokumentensammlung.....	17
2.2 Schweiz	18
2.3 Österreich	22
2.4 Deutschland.....	25
2.5 Zwischenfazit	28
3. Analyse I.....	30
3.1 Begriffe und Risiken	31
3.2 Zugang.....	35
3.3 Förderung	41
3.4 Umsetzung.....	45
4. Hauptteil II	51

4.1 Vertiefung Schweiz.....	51
4.2 Langfristige Klimastrategie (2021)	52
4.3 Ergänzung zur Langfristigen Klimastrategie (2025).....	56
4.4 Klima- und Innovationsgesetz (2025)	59
4.5 Klimaschutz-Verordnung (2025).....	61
4.5 Co2-Gesetz (2024)	67
4.6 Analyse II	69
4.7 Zwischenfazit	74
5. Fazit.....	76
6. Diskussion	78
7. Conclusio.....	80
6. Literaturverzeichnis.....	82

1. Einleitung

1.1 Thema/Zielsetzung der Arbeit

Das Thema der vorliegenden Arbeit ist die vergleichende Analyse der Carbon-Management-Strategien Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. Im Zentrum steht die Frage, wie die drei Länder in ihren strategischen Dokumenten den Umgang mit Carbon Management (CDR, CCS und CCU) gestalten und welche Gemeinsamkeiten oder Unterschiede dabei entstehen. Der Fokus liegt auf der Schweiz, da hier nicht nur eine Forschungslücke besteht, sondern auch kein einzelnes, definitives Strategiepapier wie in Deutschland oder Österreich vorliegt, gleichzeitig jedoch ausreichend öffentlich zugängliches Material vorhanden ist, um eine fundierte Analyse durchzuführen. Deutschland und Österreich werden im Vergleich herangezogen, um die Ergebnisse der Schweizer Analyse in den DACH-Kontext einzuordnen und Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede systematisch herauszuarbeiten.

Der Klimawandel stellt eine der größten globalen Herausforderungen der Gegenwart dar. Seit einigen Jahren gewinnt Carbon Dioxide Removal (CDR) im Rahmen der Bemühungen zur Minderung des Klimawandels und seiner Folgen zunehmend an Bedeutung und rückt verstärkt in den Fokus der Klimapolitik. Insbesondere die Berichte des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) betonen, dass eine Begrenzung der Erderwärmung auf 1,5 °C ohne den Einsatz von CDR nicht erreichbar ist (Calvin et al., 2023; Ipcc, 2022; Vaughan et al., 2024).

Artikel 4 des Pariser Übereinkommens sieht deshalb vor, bis zur zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts ein Gleichgewicht zwischen anthropogenen Emissionen und deren Entnahme aus der Atmosphäre zu erreichen (UNFCCC, 2015). Dieses Ziel wird in der Fachsprache als Net Zero (Netto-Null) bezeichnet. Seit der Verabschiedung des Übereinkommens haben zahlreiche Staaten, darunter auch die DACH-Länder, eigene Netto-Null-Ziele formuliert.

Die Arbeit vergleicht die nationalen Strategien entlang mehrere analytischen Dimensionen, die einen systematischen Zugang zum Verständnis von Carbon Management ermöglichen. Auf diese Weise lassen sich Gemeinsamkeiten, Unterschiede und mögliche Konfliktlinien zwischen den untersuchten Ländern herausarbeiten.

Während Deutschland (Schenuit et al., 2023) und Österreich (BMWET, 2019; Brad, Schneider, et al., 2024) lange Zeit Vorbehalte gegenüber CDR hatten, haben beide Länder inzwischen eigene Carbon-Management-Strategien entwickelt. Auch die Schweiz hat in den vergangenen Jahren zentrale Dokumente verabschiedet, die zunehmend einen regulatorischen und institutionellen Rahmen schaffen. Damit wird deutlich, dass Carbon Management in allen drei

Ländern Teil der langfristigen Klimapolitik ist, wenn auch mit unterschiedlichen Schwerpunkten und Umsetzungsansätzen.

Die Arbeit verfolgt das Ziel, die Ansätze der drei Länder im Bereich Carbon Management systematisch zu vergleichen und entlang zentraler Dimensionen wie Risiken, Zugang, Förderung und Umsetzung zu analysieren. Zudem werden zentrale sozialwissenschaftliche Problemlagen wie Carbon Lock-in oder Mitigation Deterrence kritisch reflektiert. Besonderes Augenmerk liegt darauf, ob die Schweiz im internationalen Vergleich eine spezifische Position einnimmt und inwieweit sie möglicherweise weiter fortgeschrittene Strukturen und Instrumente zur Umsetzung von Carbon Management entwickelt hat.

Ein direkter Vergleich ist bislang weitgehend ausgeblieben, was vor allem auf die unterschiedlichen regulatorischen und politischen Rahmenbedingungen der Länder zurückzuführen ist. Daraus ergibt sich eine Forschungslücke, die diese Arbeit adressiert, indem sie die Ansätze im Carbon Management systematisch analysiert und vergleichend gegenüberstellt. Ein solcher Vergleich ist relevant, da alle drei Länder ähnliche Klimaziele verfolgen, aber unterschiedliche Wege zur Umsetzung eingeschlagen haben. Die Analyse ermöglicht es, Gemeinsamkeiten und Unterschiede herauszuarbeiten und daraus Erkenntnisse für die zukünftige Entwicklung in diesem Bereich zu gewinnen.

1.2 Aktueller Forschungsstand

Die wissenschaftliche Forschung zu Carbon Dioxide Removal (CDR) und den damit verbundenen politischen Maßnahmen hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen und umfasst sowohl technische als auch sozialwissenschaftliche Aspekte. Für den Forschungsstand werden zentrale und wegweisende Arbeiten diskutiert. Die Policy-Analyse „Carbon Dioxide Removal Policy in the Making: Assessing Developments in 9 OECD Cases“ (Schneuit et al., 2021) gilt als wertvolle Inspirationsquelle und zeigt, dass ein länderübergreifender Vergleich von CDR-Politiken sowohl möglich als auch aufschlussreich ist. Dabei lassen sich laut Schneuit et al. drei idealtypische Ansätze in der CDR-Politik unterscheiden. Dies ist für die vorliegende Untersuchung bedeutsam, da es die systematische Analyse und den Vergleich der DACH-Länder sowie die Identifikation von Gemeinsamkeiten und Unterschieden in ihren Ansätzen ermöglicht.

Boettcher et al. (2023) untersuchen die frühe Phase der CDR-Politikentwicklung in Deutschland. Sie zeigen, dass unterschiedliche Akteure unterschiedliche Positionen einnehmen, wodurch sich potenzielle Konfliktlinien und Diskurskoalitionen bilden. Die Studie verdeutlicht, dass divergierende Interessen innerhalb eines Landes die Ausgestaltung von Carbon-

Management-Strategien maßgeblich beeinflussen können. Die Ergebnisse sind insofern relevant, da es die Komplexität der nationalen Akteurslandschaft sichtbar macht und aufzeigt, dass politische Dynamiken über den bloßen Strategieinhalt hinauswirken (Boettcher et al., 2023).

Für Österreich zeigt die Studie von Brad, Schneider et al. (2024), dass die Entwicklung einer nationalen Carbon-Management-Strategie ein dynamischer und politisch umstrittener Prozess ist. Im Zentrum stehen Fragen, welche Sektoren Zugang zu Transport- und Speicherinfrastrukturen sowie Förderungen erhalten und wie CCS, CCU und CDR unter dem Begriff Carbon Management gebündelt werden. Die Analyse verdeutlicht, dass sich daraus unterschiedliche Akteurskoalitionen und potenzielle Konfliktlinien ergeben. Besonders betont wird die Notwendigkeit klarer Definitionen von Residual Emissions, eindeutiger Zielvorgaben für Reduktion und Entfernung sowie der Vermeidung von Fehlanreizen, die den fossilen Ausstieg untergraben könnten. Für diese Arbeit trägt dies zur Analyse bei, da sie die politischen Aushandlungsprozesse in Österreich aufzeigt und damit die Grundlage für den Vergleich der DACH-Länder bildet Österreich (Brad, Schneider, et al., 2024).

Geden et al. (2020) diskutieren die Rolle von CDR im Kontext der EU-Klimapolitik. Sie betonen, dass neben der Reduktion von Treibhausgasen auch gezielte Maßnahmen zur CO₂-Entnahme notwendig sind und dass die Aufteilung von Netto-Null-Zielen in Reduktions- und Entnahmeziele von zentraler Bedeutung ist. Die Studie hebt hervor, dass die EU künftig Strategien entwickeln muss, die sowohl technologische als auch sektorale Unterschiede berücksichtigen, um die Net-Zero-Ziele effektiv umzusetzen. Für diese Arbeit trägt dies zur Analyse bei, da es die Bedeutung einer klar strukturierten und differenzierten Strategie für die Umsetzung von Carbon Management verdeutlicht (Geden et al., 2020).

Von Rothkirch et al. (2024) analysieren den aufkommenden Diskurs zu CDR in der Schweiz und zeigen, wie Erwartungen, Versprechen und Abgrenzungen den politischen Umgang mit der Technologie prägen. Es wird argumentiert, dass die verbreitete Rhetorik von „Reduktionen zuerst“ zwar zur Legitimation von CDR beiträgt, jedoch gleichzeitig verhindert, dass eine substanzielle Debatte über Umfang, Grenzen und Risiken von CDR geführt wird. Dadurch besteht die Gefahr, dass CDR überschätzt wird und als Ersatz für sofortige Emissionsreduktionen dient – ein klassisches Muster von Mitigation Deterrence. Für die vorliegende Arbeit ist die Studie besonders relevant, da sie die Schweizer Perspektive empirisch beleuchtet und aufzeigt, wie politische Narrative sowohl Vertrauen in CDR stärken als auch unbeabsichtigt zur Verzögerung ambitionierter Klimapolitik beitragen können (Von Rothkirch et al., 2024).

Studien zur öffentlichen Meinung verdeutlichen, dass die Schweizer Bevölkerung bislang nur begrenzt mit CO₂-Entfernung vertraut ist. Wenger et al. (2021) zeigen in einer experimentellen Befragung, dass die Wahrnehmung verschiedener Negativemissionstechnologien (NETs) stark von Unklarheit und Neutralität geprägt ist. Zwar stießen NETs insgesamt nicht auf Widerstand, doch blieben Wissen und Bewertungen meist oberflächlich; am höchsten akzeptiert wurde Aufforstung. Auch unterschiedliche kommunikative Rahmungen – etwa als technologische Lösung, moralisches Risiko oder Klimanotfall – führten kaum zu unterschiedlichen Einschätzungen. Eine breitere Untersuchung liefert Rhein et al. (2025), die zwischen November 2023 und Februar 2024 im Rahmen des Schweizer Umweltpanels durchgeführt wurde. Sie identifizieren ein gemischtes Bild: Zwar hält eine Mehrheit CO₂-Entfernung für potenziell wirksam, gleichzeitig überwiegen Skepsis gegenüber Risiken, Kosten und möglichen Ablenkungseffekten von Emissionsreduktionen. Auffällig ist zudem die geringe Unterstützung für Netto-Null bis 2050, die lediglich von einer Minderheit geteilt wird. Beide Studien unterstreichen, dass die öffentliche Meinung noch wenig gefestigt und stark von politischen Debatten formbar ist. Für die Arbeit ist dies insofern relevant, als gesellschaftliche Einstellungen und Akzeptanz die Entwicklung und Umsetzung von Carbon-Management-Strategien potenziell mitbestimmen und zugleich ein Spiegel der Schweizer Gesellschaft sind, was die Betrachtung in Hinsicht auf die vorliegende Arbeit insgesamt besonders interessant macht (Rhein et al., 2025; Wenger et al., 2021).

Ein weiterer, konzeptionell relevanter Aspekt ergibt sich aus der Arbeit von Lefstad et al. (2024), die die wissenschaftliche Debatte zu CCS in Skandinavien untersucht. Sie identifizieren sogenannte Socio-technical Imaginaries, also kollektiv geteilte Vorstellungen darüber, welche technologischen und gesellschaftlichen Zukunftswege als möglich oder wünschenswert gelten. Imaginaries sind dabei stark politisch geprägt, da sie Interessen stabilisieren und bestimmte Handlungsoptionen hervorheben, während alternative Wege ausgeblendet werden. Lefstad et al. zeigen, dass ein dominantes Imaginary die Diskussion über CCS prägt, das Ziel verfolgt, die industrielle Basis der Region zu erhalten und gleichzeitig Klimaziele zu erreichen. Es stützt sich auf drei zentrale Merkmale: 1) wissenschaftliche Autorität, die großtechnische CCS-Projekte legitimiert, 2) die Ausrichtung auf das „Greening“ des Industriesektors und 3) Scandinavian Exceptionalism, das vorhandene Infrastruktur, regionales Know-how und ein Narrativ nationaler Umweltführerschaft kombiniert. Lefstad et al. argumentieren, dass dieses dominante Imaginary die Gestaltungsmöglichkeiten der Zukunft einschränkt, indem Unsicherheiten und alternative Strategien zur Emissionsreduktion ausgeblendet werden. Die Ergebnisse liefern eine konzeptionelle Orientierung, um zu verstehen, wie politische und

wissenschaftliche Narrative Carbon-Management-Strategien prägen können (Lefstad et al., 2024).

Ein zentraler Aspekt vieler der diskutierten Studien betrifft die Terminologie von Carbon Management. Der Begriff ist in der Literatur umstritten und wird unterschiedlich verwendet. Für die vorliegende Arbeit wird er pragmatisch – in Anlehnung an Schenuit et al. (2023) – als Oberbegriff für Carbon Capture and Storage (CCS), Carbon Capture and Utilisation (CCU) sowie Carbon Dioxide Removal (CDR) genutzt. Die relevanten Begrifflichkeiten werden zu Beginn des ersten Hauptteils noch einmal näher erläutert (Schenuit et al., 2023).

Die im aktuellen Forschungsstand diskutierten Arbeiten dienen in dieser Arbeit vor allem als theoretischer und konzeptioneller Rahmen sowie als Orientierung für die Entwicklung des eigenen Analyserasters. Im Mittelpunkt steht jedoch die eigenständige Untersuchung der ausgewählten Dokumente zur DACH-Region sowie die vertiefte Analyse der Schweiz. Eine systematische Rückbindung der Ergebnisse an ausgewählte Arbeiten aus dem Forschungsstand erfolgt erst im Diskussionsteil, um die Befunde im Kontext der bestehenden Literatur einzuordnen und kritisch zu reflektieren.

1.3 Fragestellung

Nach der Auseinandersetzung mit dem aktuellen und relevanten Forschungskontext sowie der dargestellten Zielsetzung der Arbeit wird die Analyse durch präzise Fragestellungen strukturiert. Um die vergleichende Analyse der Carbon-Management-Strategien Deutschlands, Österreichs und insbesondere der Schweiz systematisch umzusetzen, werden im Folgenden die zentrale forschungsleitende Frage sowie die Unterfragen formuliert. Diese dienen dazu, die verschiedenen Dimensionen des Carbon Managements gezielt zu beleuchten und die Schweiz im DACH-Vergleich einzuordnen. Die grundsätzliche forschungsleitende Fragestellung lautet: Wie positionieren sich Deutschland, Österreich und die Schweiz im Bereich Carbon Management, und welche zentralen Gemeinsamkeiten und Unterschiede lassen sich in ihren Strategien identifizieren?

Unterfragen

Wie werden Begriffe wie Restemissionen sowie die Risiken von Mitigation Deterrence und Carbon Lock-in in der Schweiz definiert und politisch behandelt? Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede zeigen sich dabei im Vergleich zu Deutschland und Österreich?

Diese Frage erlaubt es, zentrale theoretische Konzepte der Arbeit zu operationalisieren und zu prüfen, wie sie in den nationalen Strategien interpretiert und umgesetzt werden. Sie zeigt,

inwieweit Risiken von Pfadabhängigkeiten und verzögerten Emissionsreduktionen berücksichtigt werden, und ermöglicht einen Vergleich der Ansätze im DACH-Raum.

Wie wird der Zugang zu Carbon-Management-Technologien in der Schweiz rechtlich, sektoral und institutionell geregelt, und welche Akteure sind daran beteiligt? Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede zeigen sich im Vergleich zu Deutschland und Österreich?

Der Zugang bestimmt, welche Sektoren und Akteure Carbon-Management-Technologien tatsächlich nutzen können und wie technologische Pfade für die Dekarbonisierung geöffnet oder eingeschränkt werden. Ein Vergleich mit Deutschland und Österreich zeigt Unterschiede und Gemeinsamkeiten in der institutionellen, regulatorischen und sektoralen Einbettung von CM-Technologien.

Wie erfolgt die staatliche Förderung von Carbon Management in der Schweiz, etwa durch Bereitstellung von Infrastruktur oder regulatorische Maßnahmen? Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede zeigen sich dabei im Vergleich zu Deutschland und Österreich?

Förderung ist entscheidend für die Umsetzung von Strategien in der Praxis. Die Frage beleuchtet, wie finanzielle, regulatorische und infrastrukturelle Maßnahmen den Einsatz von Carbon-Management-Technologien unterstützen oder hemmen. Der Vergleich verdeutlicht, welche Förderungsansätze in anderen Ländern bestehen und welche Implikationen sich daraus für die Schweiz ergeben.

Wie ist der Einsatz bzw. die Umsetzung von Carbon-Management-Technologien in der Schweiz geplant und welche Infrastrukturmaßnahmen sind bereits vorhanden oder vorgesehen? Gibt es bereits Pilotprojekte? Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede bestehen im Vergleich zu Deutschland und Österreich?

Diese Frage fokussiert auf die konkrete Operationalisierung der Strategien. Sie zeigt, wie theoretische Zielsetzungen in der Praxis umgesetzt werden, ob Pilotprojekte existieren und wie die Infrastruktur gestaltet ist. Der Vergleich erlaubt Einblicke in unterschiedliche Umsetzungspraktiken und deren mögliche Auswirkungen auf die Dekarbonisierung.

1.4 Theoretischer Ansatz

Der theoretische Rahmen dieser Arbeit stützt sich auf zwei zentrale Konzepte: Carbon Lock-in und Mitigation Deterrence. Beide Konzepte entstammen der sozialwissenschaftlichen Auseinandersetzung mit Klimapolitik und beleuchten Risiken, die bei der politischen Steuerung von Dekarbonisierungsprozessen entstehen können.

Unter Carbon Lock-in wird die Tendenz verstanden, dass bestehende Strukturen, insbesondere im Bereich der fossilen Energieversorgung, durch politische Entscheidungen, ökonomische Investitionen oder institutionelle Arrangements verfestigt werden und dadurch alternative Entwicklungspfade erschwert oder gar blockiert werden. Lock-in bedeutet somit nicht nur, dass bestimmte Technologien – häufig fossile Energieträger, weshalb der Mechanismus auch als Fossil Fuel Lock-in bezeichnet werden kann – weiterbestehen, sondern auch, dass Akteurskonstellationen, Regulierungen oder gesellschaftliche Narrative die Fortführung bestehender Praktiken begünstigen und damit Wandel hin zu kohlenstoffärmeren Systemen verhindern. Gerade im Kontext von Carbon-Management-Strategien ist diese Dynamik bedeutsam, da politische Maßnahmen sowohl neue Optionen eröffnen als auch bestehende Pfade stabilisieren können. Die Analyse von Lock-in erlaubt es daher, Mechanismen sichtbar zu machen, die tiefgreifende Transformationen insbesondere im fossilen Energiesektor verlangsamen oder einseitige Abhängigkeiten erzeugen (Asayama, 2021; Brad, Haas, et al., 2024; Green et al., 2022; Unruh, 2000).

Da Carbon Lock-in in nahezu allen Sektoren und auf verschiedenen räumlichen Ebenen auftreten kann, von lokalen bis zu globalen Strukturen, und durch unterschiedliche Mechanismen verstärkt wird, beschränkt sich die vorliegende Arbeit nicht auf einen einzelnen Bereich. Vielmehr wird versucht, einen allgemeinen Überblick über Lock-in-Dynamiken zu geben, und aus diesem Grund wird in der Arbeit eine Definition von Carbon Lock-in verwendet, die der theoretischen Beschreibung der Thematik sehr ähnlich ist, dabei zugleich allgemein gehalten bleibt.

In dieser Arbeit wird Carbon Lock-in dann angenommen, wenn Carbon-Management-Technologien auf Infrastrukturen oder in Sektoren angewendet werden, die fossile Energie nutzen, um bestehende emissionsintensive Praktiken fortzuführen. In solchen Fällen werden alternative Dekarbonisierungsoptionen – etwa der Umstieg von fossiler auf erneuerbare Energie – strukturell ausgeschlossen oder deren Umsetzung erheblich erschwert. Die Sektoren, welche von den Ländern als hard-to-abate bzw. mit schwer vermeidbaren Emissionen erachtet werden, sind von der Analyse von Lock-in ausgenommen, da in diesen Bereichen tatsächlich schwer bzw. nicht vermeidbare Emissionen entstehen und der Einsatz von Carbon-Management-Technologien daher besonders relevant ist. Welche Sektoren unter diese Kategorie fallen, liegt außerhalb des Einflussbereichs dieser Arbeit; es wird lediglich mit den von den Ländern festgelegten Klassifikationen gearbeitet. Es wird davon ausgegangen, dass diese Einordnungen eine wissenschaftlich nachvollziehbare Grundlage besitzen, auch wenn ihre eigenständige

Überprüfung nicht Teil dieser Arbeit ist. Bewertet wird ausschließlich, ob und wie die CM-Strategien der drei Länder potenzielles Lock-in fördern, berücksichtigen oder vermeiden.

Neben institutionellen und technologischen Pfadabhängigkeiten zeigt die sozialwissenschaftliche Literatur, dass auch Erwartungen zukünftiger Technologien Risiken bergen können – dieser Aspekt wird durch Mitigation Deterrence erfasst.

Das Konzept der Mitigation Deterrence richtet den Blick stärker auf die Rolle von Erwartungen. Es verweist darauf, dass die Aussicht auf zukünftige Technologien und Maßnahmen zur Emissionsminderung die Umsetzung von kurzfristig notwendigen Schritten schwächen oder verzögern kann. Politische Akteure, wirtschaftliche Interessengruppen oder die Gesellschaft insgesamt können dazu neigen, anspruchsvolle Reduktionen im Hier und Jetzt aufzuschieben, wenn sie davon ausgehen, dass technologische Innovationen in der Zukunft eine einfachere oder kostengünstigere Lösung bereithalten werden. Damit beschreibt Mitigation Deterrence ein Risiko, das weniger aus institutioneller Trägheit als vielmehr aus strategischer Erwartungsbildung entsteht und die Glaubwürdigkeit von Klimapolitik untergraben kann (Brad & Schneider, 2023; Dooley & Kartha, 2018; Grant et al., 2021; Markusson et al., 2018).

Beide Konzepte ergänzen sich und bilden zusammen den theoretischen Kern dieser Arbeit. Während Carbon Lock-in aufzeigt, wie bestehende Strukturen Stabilität erzeugen und dadurch Veränderung erschweren, macht Mitigation Deterrence deutlich, dass auch Zukunftserwartungen problematisch wirken können, wenn sie als Ersatz für unmittelbares Handeln dienen.

Exkurs: Socio-technical Imaginaries

Ergänzend sei kurz auf das Konzept der Socio-technical Imaginaries hingewiesen, das in der jüngeren Literatur an Bedeutung gewonnen hat (Lefstad et al., 2024). Darunter versteht man kollektiv geteilte Vorstellungen darüber, welche technologischen und gesellschaftlichen Zukunftspfade als wünschenswert oder realistisch gelten. Imaginaries sind stark politisch geprägt, da sie bestimmte Interessen stabilisieren und alternative Handlungsoptionen in den Hintergrund drängen können.

In dieser Arbeit werden Imaginaries nicht als zentraler Bestandteil des theoretischen Rahmens eingesetzt, sondern lediglich explorativ berücksichtigt. Sie dienen als Anknüpfungspunkt, um im Diskussionsteil zu reflektieren, ob und inwiefern die untersuchten Dokumente – insbesondere im Fall der Schweiz – implizite Zukunftsbilder enthalten, die Carbon-

Management-Strategien prägen könnten. Damit eröffnen sie eine Perspektive für weiterführende Forschung, ohne in die eigentliche Analyse systematisch integriert zu sein.

1.5 Methodisches Vorgehen

Die Arbeit basiert auf einer qualitativen Inhaltsanalyse politischer und strategischer Dokumente zum Thema Carbon Management in der Schweiz, Deutschland und Österreich. Ziel ist es, Unterschiede sowie Gemeinsamkeiten in den nationalen Ansätzen systematisch herauszuarbeiten und vergleichbar zu machen.

Forschungsdesign und Materialbasis

Als Forschungsdesign wurde eine qualitative, vergleichende Policy-Analyse gewählt. Die Auswahl der Dokumente orientiert sich am Anspruch, die jeweils maßgeblichen staatlichen Strategien zum Carbon Management zu erfassen. Für Deutschland und Österreich wird jeweils ein zentrales Strategiepapier in die Analyse einbezogen: im Fall Deutschlands das Eckpunktepapier zur Carbon-Management-Strategie (2024) und im Fall Österreichs die Carbon Management Strategie (2024). Für die Schweiz werden mehrere relevante Quellen in die Analyse einbezogen, darunter der Bericht des Bundesrates (2022), das Klima- und Innovationsgesetz (KIG) sowie die entsprechende Verordnung (2025), das CO₂-Gesetz und die dazugehörige Verordnung (2025), darüber hinaus die Langfristige Klimastrategie (2021) und deren Ergänzung (2025). Damit wird der unterschiedliche institutionelle Rahmen der Länder in der Dokumentenbasis abgebildet.

Fallauswahl DACH-Region

Die DACH-Region wurde für die Untersuchung ausgewählt, da sie mehrere vorteilhafte Vergleichsbedingungen bietet. Die Länder teilen eine gemeinsame Sprache, kulturelle Überschneidungen sowie ähnliche wirtschaftliche Strukturen, was die Analyse politischer Strategien erleichtert. Zudem verfügen alle drei Staaten über föderale politische Systeme und demokratische Institutionen, wodurch Entscheidungsprozesse und institutionelle Praktiken vergleichbar sind. Gleichzeitig unterscheiden sich die Länder in der Art und Weise, wie Carbon-Management-Maßnahmen dokumentiert und umgesetzt werden: Deutschland und Österreich verfügen über zentrale Strategie-Dokumente, während in der Schweiz mehrere verteilte Quellen herangezogen werden müssen. Darüber hinaus stehen die DACH-Länder vor ähnlichen Herausforderungen im Klimaschutz, wie der Reduktion von CO₂-Emissionen und der Förderung erneuerbarer Energien, was einen länderübergreifenden Vergleich besonders

relevant macht. Auch die enge wissenschaftliche Zusammenarbeit innerhalb der Region unterstützt den Austausch von Wissen und Best Practices. Diese Kombination erlaubt sowohl eine vertiefte Analyse des schweizerischen Falls als auch einen länderübergreifenden Vergleich.

Kategorienbildung und Kodierung

Die Analyse stützt sich auf die strukturierende Inhaltsanalyse nach Mayring (Mayring & Fenzl, 2014), umgesetzt mit dem Online-Tool QCAmap. Grundlage für die Kategorienbildung waren die in der Arbeit formulierten Unterfragen, die thematische Schwerpunkte und Vergleichsebenen der Untersuchung abstecken. Aus diesen Unterfragen wurde ein Kategoriensystem mit fünf Hauptkategorien abgeleitet:

1. Begriffe und Konzepte
2. Zugang und Akteure
3. Risiken
4. Förderung und Regulierung
5. Umsetzung und Infrastruktur

Die Kodierung erfolgte deduktiv entlang dieses Rasters, wobei zusätzlich Raum für induktiv entwickelte Subkategorien gelassen wurde. Textstellen konnten bei Bedarf mehreren Kategorien zugeordnet werden, um Überschneidungen systematisch zu erfassen.

Dimensionen und Auswertungsschritte

Die länderspezifische Auswertung der Kodierungen diente als systematische Vorarbeit, um in einem zweiten Schritt die Ergebnisse vergleichend zu verdichten. Für die vergleichende Analyse wurden die Kategorien thematisch zu vier übergeordneten Dimensionen zusammengeführt:

1. Begriffe und Risiken
2. Zugang
3. Förderung
4. Umsetzung

Die Zusammenführung von ‘Begriffen und Konzepten’ mit ‘Risiken’ ergibt sich aus der inhaltlichen Nähe der beiden Kategorien: Viele Textstellen thematisierten sowohl zentrale

Begriffe des Carbon Managements als auch damit verbundene Risiken, zudem traten die Risikoinhalte nur punktuell auf. Durch die Kombination beider Kategorien in einer Dimension wird eine konsistente Vergleichbarkeit zwischen den Ländern gewährleistet und die Analyse der zentralen Themen erleichtert. Dieses vierdimensionale Analyseraster gewährleistet eine konsistente Vergleichbarkeit zwischen den Ländern und bildet die Grundlage für die Beantwortung der Forschungsfrage.

Die Auswertung folgt einem zweistufigen Verfahren: Zunächst werden die Ergebnisse länderspezifisch entlang der Kategorien dargestellt, anschließend vergleichend entlang der vier Dimensionen analysiert. Darauf aufbauend erfolgt eine vertiefte Untersuchung der Schweizer Strategie, die den besonderen institutionellen Kontext und die vorhandenen Dokumente berücksichtigt. Abschließend werden die Ergebnisse im Diskussionsteil zusammengeführt, kritisch reflektiert und in Bezug auf die Forschungsfrage interpretiert.

Die Kategorien werden im Kapitel Datenbasis / Dokumentensammlung nochmals präzise erläutert.

1.6 Technische Grundlagen

1.6.1 Carbon Management

Carbon Management wird laut Schenuit et al. (2023) häufig als Sammelbegriff für CCS, CCU und CDR verwendet, wobei eine präzise Abgrenzung dieser Konzepte als essenziell erachtet wird. Die vorliegende Arbeit stützt sich auf die Differenzierung von Schenuit et al. (2023) als grundlegende Basis für eine korrekte begriffliche Einordnung. Gleichzeitig werden die Definitionen aus dem technischen Bericht „The State of Carbon Dioxide Removal – 2nd Edition“ (Vaughan et al., 2024) herangezogen, um gegebenenfalls eine weiterführende Differenzierung vorzunehmen und die Einordnung der Konzepte zu präzisieren. Diese Vorgehensweise soll als konzeptionelles Fundament der Arbeit dienen und eine klare sowie konsistente Struktur gewährleisten. Nach Schenuit et al. (2023) ermöglicht die Bündelung von CCS, CCU und CDR unter dem Begriff Carbon Management eine vereinfachte politische Kommunikation, birgt jedoch das Risiko, Unterschiede in den jeweiligen Funktionen zu verschleiern (Brad, Schneider, et al., 2024; Schenuit et al., 2023).

Carbon Dioxide Removal

Carbon Dioxide Removal (CDR) spielt eine zentrale Rolle in der Klimapolitik, da es kurzfristig zur Verringerung der Nettoemissionen beitragen, mittelfristig den Ausgleich von

Restemissionen ermöglichen und langfristig sogar negative Nettoemissionen bewirken kann. Auf nationaler Ebene wird CDR daher als wichtiger Bestandteil zur Erreichung der Temperaturziele des Pariser Abkommens betrachtet. Um eine einheitliche Grundlage für die Analyse zu schaffen, wird in dieser Arbeit die Definition des IPCC herangezogen, die CDR als gezielte Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre mit dauerhafter Speicherung beschreibt:

„Anthropogenic activities removing carbon dioxide (CO₂) from the atmosphere and durably storing it in geological, terrestrial, or ocean reservoirs, or in products. It includes existing and potential anthropogenic enhancement of biological or geochemical CO₂ sinks and direct air carbon dioxide capture and storage (DACCS) but excludes natural CO₂ uptake not directly caused by human activities” (IPCC Glossary Search, o. J.).

Es handelt sich laut dieser Definition deshalb nur dann um CDR, wenn die drei folgenden Prinzipien eingehalten werden: Erstens, sollte das eingefangene CO₂ aus der Atmosphäre und nicht aus fossilen Quellen stammen, zweitens sollte das CO₂ dauerhaft gespeichert und drittens sollte die Entnahme von menschlicher Aktivität stammen. Der Bericht unterscheidet zwischen zwei grundlegenden Kategorien von CDR-Methoden: konventionelle und neuartige Ansätze. Erstere umfassen vor allem Maßnahmen im Bereich Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF), wie Aufforstung und Wiederaufforstung. Neuartige Methoden basieren auf technologischen Verfahren, wie beispielsweise Direct Air Capture and Carbon Storage (DACCS) oder Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS), bei denen CO₂ entweder direkt aus der Luft oder aus der Verbrennung biomassereicher Energieträger abgeschieden und anschließend in geologischen Formationen gespeichert wird. Laut dem Bericht werden derzeit weltweit jährlich etwa 2 Gigatonnen CO₂ (zwei Mia. Tonnen) durch CDR entfernt, wobei lediglich 1,3 Millionen Tonnen (0,0013 Gt) auf neuartige Methoden entfallen (Vaughan et al., 2024).

1.6.2 Carbon Capture and Storage

Carbon Capture and Storage (CCS) ist ein industrielles Verfahren zur Abscheidung von CO₂, das anschließend komprimiert und für den Transport oder die dauerhafte Speicherung vorbereitet wird. CCS kann sowohl in Verbindung mit fossilen Brennstoffen als auch zur Minderung von Emissionen aus industriellen Prozessen eingesetzt werden.

CCS kann ebenfalls als Carbon Dioxide Removal (CDR) eingesetzt werden, muss dafür jedoch die zuvor beschriebenen drei grundlegenden CDR-Prinzipien erfüllen. Nur wenn CCS in Kombination mit einem Verfahren wie Direct Air Capture (DAC) – also als Direct Air Capture and Storage (DACCS) – angewendet wird, kann es als CDR geltend gemacht werden. Andere

Formen der CO₂-Abscheidung werden hingegen als reine Emissionsreduktion klassifiziert. Schenuit et al. betonen, dass die strategische Rolle von CCS maßgeblich von der Art der CO₂-Quelle abhängt. In vielen aktuellen politischen Strategien und Maßnahmen wird jedoch häufig nicht zwischen verschiedenen CO₂-Quellen und deren spezifischen Anwendungen unterschieden (Schenuit et al., 2023; Vaughan et al., 2024).

1.6.3 Carbon Capture and Utilisation

Bei der Methode des Carbon Capture and Utilisation (CCU) wird – analog zu CCS – CO₂ abgeschieden, mit dem Ziel, es in unterschiedliche Produkte zu überführen. Damit CCU als Carbon Dioxide Removal (CDR) gilt, müssen die zuvor beschriebenen drei grundlegenden CDR-Prinzipien erfüllt werden. Darüber hinaus kann CCU nur dann als CDR klassifiziert werden, wenn das abgeschiedene CO₂ dauerhaft in langlebigen Materialien, wie beispielsweise Betonzuschlagstoffen oder Bauholz, gebunden wird. In vielen Fällen wird das abgeschiedene CO₂ jedoch für kurzlebige Anwendungen wie kohlensäurehaltige Getränke oder synthetische Kraftstoffe genutzt, wodurch die Freisetzung in die Atmosphäre lediglich verzögert, aber nicht verhindert wird (Schenuit et al., 2023; Vaughan et al., 2024).

1.6.4 Net-Zero

Seit dem Inkrafttreten des Pariser Abkommens im Jahr 2015 und der Veröffentlichung des IPCC-Sonderberichts zur Begrenzung der Erderwärmung auf 1,5 °C rücken Net-Zero-Ziele zunehmend in den Mittelpunkt der internationalen Klimapolitik. Sie definieren einen Zustand, in dem anthropogene Treibhausgasemissionen bilanziell durch Emissionsreduktionen oder die dauerhafte Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre ausgeglichen werden. Im Kern spiegeln diese Ziele die im Pariser Abkommen formulierte Balance zwischen Emissionen und deren Entnahme wider. Zentral für das Erreichen von Net Zero sind zwei Konzepte: Zum einen die Restemissionen, also solche, die trotz Minderungsbemühungen bestehen bleiben, und zum anderen Carbon Dioxide Removal (CDR), das verschiedene Technologien und Methoden umfasst, um CO₂ aus der Atmosphäre zu entfernen und die verbleibenden Emissionen auszugleichen. Während Net-Zero-Ziele inzwischen das Leitbild sowohl nationaler als auch unternehmerischer Klimapolitik darstellen, werfen sie aus sozialwissenschaftlicher Perspektive neue Fragen auf: Wie werden verbleibende Restemissionen definiert, quantifiziert und auf verschiedene Sektoren verteilt (Brad, Haas, et al., 2024; Lund et al., 2023)?

1.7 Sozialwissenschaftliche Perspektiven

1.7.1 Restemissionen

Aus sozialwissenschaftlicher Perspektive sind verbleibende Restemissionen bislang weder klar konzeptionell abgegrenzt noch präzise quantifiziert (Brad, Haas, et al., 2024; Buck et al., 2023; Lund et al., 2023; Schenuit et al., 2023). Buck et al. (2023) zeigen, dass viele Länder Restemissionen zwar in ihre langfristigen Strategien einbeziehen, jedoch häufig eine konsistente Definition fehlt; auch in der Literatur finden sich unterschiedliche Ansätze: Buck et al. (2023, S.1), definieren Restemissionen als: „Emissionen, die als schwer abbaubar gelten (hard to abate) und durch Carbon Removal kompensiert werden müssen“, so wie Lund et al. (2023, S.2), ähnlich: „Auf einer allgemeinen Ebene können Restemissionen als Emissionen beschrieben werden, die aus Aktivitäten stammen, die als gesellschaftlich notwendig, aber als zu schwer abbaubar (hard to abate) angesehen werden“, während Schenuit et al. (2023, S.4) Restemissionen als „eine Größe, die einfach beschreibt, welche Emissionen im und nach dem Netto-Null-Jahr tatsächlich in die Atmosphäre gelangen“ darstellt. Brad, Haas, et al. (2024, S. 2) verwenden in ihrer Arbeit den Begriff: „um eine bestimmte Menge an Emissionen in Bezug auf ein Netto-Null Jahr zu bezeichnen, welche negativen Emissionen erforderlich macht. Als solche bedürfen Restemissionen in der Regel einer Begründung, warum sie nicht abgebaut werden können“. (Übersetzungen aus dem Englischen) Für die vorliegende Arbeit ist insbesondere der Kommentar von Schenuit et al. (2023) relevant, dass der Umgang mit Restemissionen und deren Abgrenzung zu hard-to-abate-Emissionen in erster Linie politischer Natur ist und nicht immer eindeutig definiert werden kann. Eine strikte theoretische Unterscheidung der Begriffe kann zwar von Vorteil sein, steht jedoch nicht im Fokus dieser Untersuchung. Im Mittelpunkt steht vielmehr der Vergleich der DACH-Staaten, wobei analysiert wird, wie die einzelnen Länder mit diesem Themenkomplex umgehen, in welchem Kontext sie Begriffe wie Restemission und inwiefern dies im Hinblick auf hard-to-abate-Sektoren relevant ist. Darüber hinaus wird betrachtet, für welche Emissionen Carbon-Management-Maßnahmen vorgesehen werden, unter Einbeziehung der zuvor festgelegten Kategorien und analytischen Dimensionen.

1.7.2 Mitigation Deterrence

Während CDR als potenziell notwendiges Instrument zur Erreichung der Klimaziele angesehen wird, birgt es auch die Gefahr der Mitigation Deterrence. Dieses Phänomen beschreibt die Möglichkeit, dass die Erwartung einer zukünftigen, großflächigen Implementierung von CDR-

Technologien gegenwärtige Anstrengungen zur Emissionsminderung untergräbt. Entscheidungsträger und Stakeholder könnten argumentieren, dass ambitionierte Reduktionsziele weniger dringlich sind, wenn die Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre durch CDR zukünftig realisiert werden kann. Diese Verlagerung des Fokus weg von der Mitigation (Emissionsreduktion) birgt das Risiko, dass kurzfristige Klimaschutzmaßnahmen vernachlässigt werden, was potenziell zu einer Überschreitung kritischer Klimaschwellenwerte und einer Abhängigkeit von noch nicht bewiesenen Technologien führen könnte (Brad & Schneider, 2023; Carton et al., 2023; Dooley & Kartha, 2018; Grant et al., 2021; Markusson et al., 2018).

1.7.3 Carbon Lock in

Carbon Lock-in beschreibt die strukturelle Verankerung bestehender kohlenstoffintensiver Energiesysteme, die Veränderungen erschwert. Diese Persistenz entsteht durch die Kombination aus Pfadabhängigkeiten, hohen Investitionskosten, bestehenden Infrastrukturen, politischen Entscheidungen und sozialen Praktiken. In der Forschung werden unterschiedliche Dimensionen von Lock-in diskutiert, darunter technologische, institutionelle und gesellschaftliche Aspekte. Für die Analyse von Carbon-Management-Strategien ist relevant, dass Lock-in-Systeme die Einführung kohlenstoffarmer Technologien verzögern oder bestehende Praktiken stabilisieren können. Gleichzeitig ist Lock-in kein permanenter Zustand, sondern ein persistentes Muster, das durch gezielte politische, technologische und infrastrukturelle Maßnahmen aufgebrochen werden kann (Asayama, 2021; Brad, Haas, et al., 2024; Green et al., 2022; Unruh, 2000).

2. Hauptteil I

2.1 Datenbasis / Dokumentensammlung

Die länderspezifische Dokumentensammlung bildet die Grundlage für die vergleichende Analyse der Carbon-Management-Strategien der drei Länder. Sie dient dazu, zentrale Informationen systematisch zu erfassen, die in einem zweiten Schritt thematisch entlang der Unterfragen und definierten Dimensionen verdichtet und vergleichend ausgewertet werden.

Die Kategorie „Begriffe und Konzepte“ erfasst zentrale Begriffe, die in den Strategien der Länder im Zusammenhang mit Carbon Management verwendet werden. Dazu gehören Technologien wie CCS, CCU und CDR sowie Begriffe wie Restemissionen oder hard-to-abate-

Sektoren. Es wird erfasst, wie die Länder diese Begriffe einsetzen und welche Konzepte der Gestaltung von Carbon-Management-Maßnahmen ihnen zugrunde liegen.

Die Kategorie „Zugang“ beschreibt die institutionellen, rechtlichen und sektoralen Rahmenbedingungen für Carbon-Management-Technologien. Dazu zählen die rechtliche Ebene, die definiert, welche Gesetze, Strategien oder Verbote den Einsatz der Technologien ermöglichen oder einschränken, der sektorale Zugang, der festlegt, welche Branchen und Emissionsbereiche die Technologien nutzen können, sowie der institutionelle Zugang, der relevante Akteure und Entscheidungsstrukturen berücksichtigt.

In der Kategorie „Risiken“ wird erfasst, ob bekannte Risiken wie Carbon Lock-in oder Mitigation Deterrence in den Strategien der Länder erwähnt werden und in welchem Umfang diese Risiken bei der Ausgestaltung von Carbon-Management-Maßnahmen berücksichtigt werden.

Die Kategorie „Förderung und Regulierungen“ erfasst allgemeine politische, wirtschaftliche und regulatorische Maßnahmen, die den Ausbau, die Anwendung oder die Verbreitung von Carbon-Management-Technologien unterstützen.

Die Kategorie „Umsetzung und Infrastruktur“ erfasst bestehende Projekte, geplante Vorhaben und die infrastrukturellen Voraussetzungen für die Nutzung von Carbon-Management-Technologien. Untersucht wird unter anderem, welche Technologien bereits angewendet werden, welche Maßnahmen in Planung sind und welche CO₂-Transport- oder Speicherinfrastrukturen vorhanden oder vorgesehen sind.

2.2 Schweiz

Begriffe und Konzepte

Der Bericht des Bundesrates formuliert grundlegende Rahmenbedingungen und politische Leitlinien für den Einsatz von Carbon Management in der Schweiz. CCS und NET (Negativemissionstechnologien) werden dabei als zentrale Bausteine zur Erreichung der Netto-Null-Ziele bis 2050 und darüber hinaus hervorgehoben. Die Strategie folgt dem Grundsatz, dass die Emissionsvermeidung oberste Priorität hat, die Emissionen primär und möglichst vollständig im Inland vermindert werden sollen und CCS sowie NET lediglich als komplementäre Maßnahmen zum Einsatz kommen. Technologische Offenheit bildet ein zentrales Konzept der schweizerischen Herangehensweise: Der angestrebte Portfolioansatz erlaubt die parallele Entwicklung verschiedener Technologien, wobei aber CCUS im Bericht

nicht berücksichtigt wurde. NET-Ansätze wie die Nutzung von Holz in Gebäuden, Pflanzkohle oder beschleunigte Verwitterung werden erwähnt, jedoch nicht vertieft behandelt und sollen laut Bundesrat nur im Einklang mit anderen sektoralen Politiken weiterentwickelt werden. Sowohl DACCS als auch BECCS sind Bestandteil der Planung, wobei DACCS primär im Ausland und BECCS vorwiegend im Inland umgesetzt werden soll. Im Bericht findet sich zwar keine formale Definition von „hard-to-abate“-Sektoren, jedoch wird mehrfach auf die langfristige Klimastrategie des Bundes (2021) verwiesen. Dort werden insbesondere Industrie, Abfallverwertung und Landwirtschaft als Bereiche mit schwer vermeidbaren Emissionen genannt; dieser Kategorienbegriff wird dabei häufig verwendet, während der Begriff „Restemissionen“ nur am Rande erwähnt und nicht klar definiert ist (Bundesrat, 2022).

Zugang und Akteure

Sektoren: Der Zugang zu CCS und NET ist in der Schweiz eng mit der Vermeidbarkeit von Emissionen verknüpft. CCS wird primär für schwer vermeidbare Emissionen aus industriellen Prozessen wie der Zementproduktion oder der Abfallverbrennung vorgesehen, während schwer vermeidbare Emissionen aus anderen Bereichen – etwa der Landwirtschaft – über NET kompensiert werden sollen. Einzelne Zwischenschritte, etwa CO₂-Speicherung in Baustoffen oder an Biogasanlagen, werden bereits erprobt.

Regulatorische und ökonomische Rahmenbedingungen: Marktbasierte und staatlich unterstützte Instrumente wie Ausschreibungen oder CO₂-Quoten könnten langfristig helfen, CCS und NET ökonomisch tragfähig zu machen. Auch Kooperationsverträge mit dem Ausland sowie freiwillige Marktmechanismen auf kantonaler oder der Gemeinde Ebene werden als mögliche Zugangspfade diskutiert.

Institutionelle Zuständigkeiten und Akteursrollen: Für den Aufbau der nötigen Infrastruktur, insbesondere CO₂-Transportnetze, müssen die Rollen und Zuständigkeiten zwischen Bund, Kantonen und Wirtschaft noch geklärt werden. Da aktuell zentrale Kompetenzen, etwa für die Regulierung von CO₂-Infrastrukturen, bei den Kantonen liegen, ist ein kooperatives Vorgehen erforderlich. Wirtschaft, Forschung und Gesellschaft gelten als zentrale Akteure für die Entwicklung und Umsetzung entsprechender Technologien. Die Förderung von Innovation, Akzeptanz und systemischem Wissen, etwa im Bereich der Governance oder sozialen Fragen, wird als essenziell betrachtet, der Bund soll hier eine koordinierende und unterstützende Rolle einnehmen (Bundesrat, 2022).

Risiken

In der schweizerischen Strategie wird das Risiko eines Carbon Lock-in nicht explizit thematisiert, zugleich lassen sich Vorsorgeprinzipien in den strategischen Leitlinien erkennen. Dabei hat die Emissionsvermeidung oberste Priorität, während CCS und NET als ergänzende Maßnahmen für unvermeidbare Emissionen vorgesehen sind. Der technologieoffene Portfolioansatz soll sicherstellen, dass die Schweiz nicht einseitig von einer einzelnen Technologie abhängig wird. Die parallele Entwicklung und Prüfung verschiedener Optionen dient dazu, das Risiko langfristiger Festlegungen auf möglicherweise ineffiziente oder nicht nachhaltige Pfade zu verringern. Dabei wird der Bedeutung von Innovations- und Lernprozessen Rechnung getragen, um technologische Weiterentwicklungen zu unterstützen. Besonders hervorgehoben wird die Notwendigkeit, die knappen geologischen Speicherressourcen mit Bedacht zu nutzen. Eine explizite Warnung vor der unnötigen Belegung dieser Kapazitäten unterstreicht die strategische Prioritätensetzung, Speicherplätze nur dort einzusetzen, wo Alternativen nicht vorhanden oder technisch nicht realisierbar sind. Obwohl Begriffe wie „Carbon Lock-in“ oder „Mitigation Deterrence“ nicht explizit verwendet werden, kann in den Strategien ein implizites Bewusstsein für diese Risiken erkannt werden, etwa durch die Betonung präventiver Maßnahmen und einer breiten technologischen Ausrichtung zur Vermeidung potenzieller Fehlentwicklungen (Bundesrat, 2022).

Förderung und Regulierung

Die schweizerische Gesamtstrategie für CCS und NET ist eng mit der Umsetzung der Pariser Klimaziele verknüpft. Der Bundesrat erkennt die Notwendigkeit staatlicher Maßnahmen, betont jedoch die zentrale Rolle von Kantonen, Gemeinden und der Privatwirtschaft. Neben dem Verweis auf die langfristige Klimastrategie werden bislang keine weiteren Gesetze konkret genannt, und zahlreiche rechtliche Grundlagen befinden sich noch in Klärung. Eine Verfassungsgrundlage für die CO₂-Infrastruktur auf Bundesebene fehlt, wodurch Zuständigkeiten für Transport, Speicherung und Genehmigungen zwischen Bund und Kantonen geteilt sind.

Als Hauptthema gilt weniger der technologische Entwicklungsstand, sondern vielmehr die fehlende Investitionssicherheit. Diskutiert werden marktbasierte Ansätze wie Emissionshandel, Ausschreibungen, Zertifikate, CO₂-Standards sowie Staatsverträge, um stabile Märkte für negative Emissionen zu schaffen. Die Schweizer Strategie für CCS und NET umfasst zudem nationale Förder- und Regulierungsmaßnahmen wie Branchenvereinbarungen, Anrechnung im

Emissionshandel, rechtliche Grundlagen für Bau, Betrieb und Transport, geologische Erkundungen sowie Pilotprojekte und Forschungsförderung. Auf institutioneller Ebene sind Arbeitsgruppen unter Einbezug von Kantonen und Wirtschaft vorgesehen, international werden Partnerschaften und Abkommen zur Beschaffung negativer Emissionen angestrebt. Zudem werden Initiativen wie die «Swiss Carbon Removal Plattform» unterstützt. Der regulatorische Rahmen folgt einem technologieoffenen, multilateralen Ansatz und wird laufend angepasst. Fördermaßnahmen werden breit angelegt, insbesondere durch das BAFU und das BFE, etwa über Programme wie DemoUpCARMA, DemoUpStorage, das SWEET-Programm, NFP-Projekte, Forschungsnetzwerke und Pilotanlagen. Auch die sozialwissenschaftliche Forschung, bspw. etwa zu Akzeptanzfragen, wird einbezogen (Bundesrat, 2022).

Umsetzung und Infrastruktur

Die Schweiz verfolgt einen zweiphasigen Plan im Bereich Carbon Management: In der Pionierphase bis 2030 sollen erste CO₂-Abscheideanlagen, etwa in Kehrlichtverbrennungsanlagen, sowie Pilotprojekte wie DemoUpCARMA umgesetzt werden, mit einer Zielmenge von rund 500.000 Tonnen CO₂ jährlich. Die Skalierungsphase 2031–2050 sieht eine CO₂-Abscheidung von etwa 7 Millionen Tonnen jährlich vor, davon rund 5 Millionen Tonnen durch CCS industrieller Quellen, 2 Millionen Tonnen durch BECCS und zusätzlich 5 Millionen Tonnen DACCS im Ausland zur Kompensation von Restemissionen.

Zu den Umsetzungsmaßnahmen zählen Vereinbarungen mit der Industrie, Unterstützung spezifischer Anlagen, Aufbau geologischer Speicher inländisch und internationale Kooperationen zur Nutzung ausländischer Speicher. Für den Transport großer CO₂-Mengen ist der Aufbau eines Pipelinenetzes geplant. Die rechtliche Verantwortung liegt bei den Kantonen, neue bundesrechtliche Regelungen werden diskutiert.

Technologische Weiterentwicklung, Pilotprojekte und Forschung zu Messbarkeit, Skalierung, Effizienz, Policy Design, Akzeptanz und Governance werden gefördert. Staatsverträge mit Ländern wie Island und den Niederlanden sowie internationale Kooperationen mit IEA, IPCC und UNFCCC sollen CO₂-Export und -Speicherung unterstützen. Hauptherausforderungen sind Investitionssicherheit, Rechtslage, begrenztes Speicherpotenzial und hohe Kosten (Bundesrat, 2022).

2.3 Österreich

Begriffe und Konzepte

Die österreichische Carbon Management Strategie behandelt umfassend den Umgang mit Restemissionen sowie die Verwaltung und Einbindung von Treibhausgasen in die Klimapolitik. Sie adressiert sowohl technologische als auch naturbasierte Optionen und bezieht neben CCS und CCU auch eine Vielzahl technischer CDR-Verfahren ein, darunter DACCS, beschleunigte Verwitterung, technische mineralische Karbonatisierung und Biokohle. Diese werden allerdings, mit Ausnahme von BECCS, nicht im Detail ausgeführt. Die CMS betont ausdrücklich die Unterscheidung zwischen technischen CDR-Verfahren (tCDR) und landbasierten Optionen und verfolgt einen integrierten Ansatz, der natürliche und technische Senken gleichermaßen umfasst.

Die Strategie versteht sich zugleich als verbindendes Element zwischen Klima- und Budgetpolitik, was unter anderem durch das Ziel deutlich wird, Emissionsminderungsmaßnahmen und finanzielle Planung kohärent aufeinander abzustimmen. Besonders hervorgehoben wird die Bedeutung von "hard-to-abate"-Emissionen, die von Österreich differenziert definiert werden, insbesondere mit Blick auf sektorale Unterschiede zwischen Industrie und Nicht-Industrie. Dabei wird das Mitigation/Energy-efficiency-first-Konzept als leitendes Kriterium für die Priorisierung von Maßnahmen betont, was auf eine konsequente Vermeidung vermeidbarer Emissionen vor dem Einsatz von Senkenstrategien abzielt (Bundesministerium Österreich, 2024).

Zugang und Akteure

Sektoren: Die Carbon Management Strategie sowie die Empfehlungen des wissenschaftlichen Beirats streben eine gezielte Öffnung für ausgewählte Sektoren an, insbesondere für sogenannte „hard-to-abate“-Bereiche. Dabei unterscheidet die österreichische CMS systematisch zwischen „Industry“- und „Non-Industry“-Sektoren. Zum Bereich „Industry“ zählen vor allem die Steine- und Erden-Industrie (inklusive Zement- und Kalkproduktion), die Glas- sowie Metallindustrie, ebenso wie Restemissionen aus Raffinerie- und Müllverbrennungsanlagen. Hier wird CCS als potenziell sinnvolle Anwendungstechnologie betrachtet. Technische CDR-Methoden (tCDR), etwa bei biogenen Heizkraftwerken oder in der Zellstoff- und Papierindustrie, werden ebenfalls als geeignete Lösungen diskutiert. Im Bereich „Non-Industry“ gelten nicht-energetische Emissionen der Landwirtschaft, der Abfallwirtschaft (ohne Verbrennung) sowie aus F-Gasen als schwer vermeidbar. Diese sollen vorrangig durch natürliche oder technische Senken

kompensiert werden. In diesem Sinne wird der Zugang zu Carbon-Management-Technologien nicht als kurzfristige Maßnahme, sondern als langfristige Zukunftsperspektive für Industrieunternehmen mit unvermeidbaren Emissionen konzeptualisiert und soll schrittweise, als Bestandteil der österreichischen Klimapolitik etabliert werden.

Regulatorische Rahmenbedingungen: In Österreich ist der Zugang zu CCS/CCU derzeit gesetzlich stark eingeschränkt und de facto (mit Ausnahme von Forschungszwecken) verboten. Gleichwohl wird in den strategischen Überlegungen auf potenzielle Speicherorte Bezug genommen, wobei sowohl geologische Formationen im Inland (etwa salinare Aquifere und Kohlenwasserstofffelder) als auch Optionen im Ausland berücksichtigt werden.

Institutionelle Zuständigkeiten und Akteursrollen: Die Steuerung der CMS erfolgt durch eigens eingerichtete Institutionen wie die CMS-Steuerungsgruppe, den Wissenschaftsbeirat und thematische Arbeitsgruppen. In der zweiten Umsetzungsphase der Strategie wurde diese Struktur durch zusätzliche Koordinationsgremien erweitert. Zentrale Elemente der Strategie sind die Verbindung wissenschaftlicher Expertise mit politischer Steuerung, die frühzeitige Einbindung von Stakeholdern und die Förderung gesellschaftlicher Akzeptanz (Bundesministerium Österreich, 2024).

Risiken

Österreich ist das einzige der drei Länder, dass das Risiko von Carbon Lock-in explizit und wiederholt adressiert. Dieses Risiko soll durch gezielte Bewertung, Regulierung und Projektsteuerung systematisch minimiert werden. Lock-in-Effekte sind fest in den Kriterien zur Bewertung der Klimarelevanz von CO₂-Anwendungen verankert, wobei Aspekte wie der Beitrag zu verbindlichen Klimazielen, Infrastrukturanforderungen, sozioökonomische Auswirkungen sowie ökologische Dimensionen – etwa in Form von Lebenszyklusanalysen – berücksichtigt werden. Dabei wird auch die Bindungsdauer als zentrales Kriterium hervorgehoben, um den quantitativen Beitrag zur Erreichung nationaler und EU-rechtlicher Klimaziele einschätzen zu können.

Das „Mitigation/Energy-Efficiency-First“-Prinzip wird mehrfach betont: CCUS und CDR sind ausschließlich als ergänzende Maßnahmen vorgesehen, nicht als Ersatz für Emissionsvermeidung. Die Berücksichtigung von Lock-in-Risiken ist verpflichtend, selbst bei geförderten Projekten, um sicherzustellen, dass langfristige Pfadabhängigkeiten vermieden werden. Auch im Bewertungsrahmen für technische CDR-Technologien (tCDR) wird das Risiko ausdrücklich genannt – neben weiteren Kriterien wie Inventurfähigkeit, technologischer

Reifegrad, Skalierbarkeit, Kostenentwicklung, Synergiepotenzialen, allgemeinen Umweltauswirkungen und Flächenbedarf. Damit unterstreicht Österreich seinen hohen Anspruch, potenzielle zukünftige Zielkonflikte frühzeitig zu identifizieren und zu vermeiden (Bundesministerium Österreich, 2024).

Förderung und Regulierung

Der wichtigste regulatorische Schritt in Österreich ist die Aufhebung des Verbots geologischer CO₂-Speicherung sowie die vollständige Umsetzung der EU-CCS-Richtlinie. Der Aufbau eines umfassenden Rechtsrahmens für die gesamte CCUS/tCDR-Kette hat zentrale Priorität. Dabei orientiert sich Österreich an zentralen EU-Regelwerken wie dem EU-Klimagesetz, der EU-ETS-Richtlinie, der EU-ESR-Verordnung und der EU-LULUCF-Verordnung, um die Anrechenbarkeit von Maßnahmen sicherzustellen.

Herausforderungen bestehen in hohen Anfangsinvestitionen, unsicherer Nachfrage, fehlendem klaren Rechtsrahmen für CO₂-Infrastruktur sowie langen Planungs- und Genehmigungszeiten. Die CMS fordert daher beschleunigte Verfahren und enge Zusammenarbeit zwischen Bund, Ländern, Wirtschaft und Öffentlichkeit.

Die CMS behandelt CO₂-Abscheidung, -Transport, -Nutzung, geologische Speicherung und CDR jeweils getrennt, wobei Rahmenbedingungen und Herausforderungen gesondert behandelt werden. Insbesondere im Bereich von tCDR wird betont, dass Maßnahmen nur klimarelevant sind, wenn sie in den nationalen Treibhausgasinventuren gemäß EU- und IPCC-Vorgaben erfasst werden. Derzeit können nur BECCS-Aktivitäten in der THG-Inventur und der ESR angerechnet werden. Österreich plant, den Aufbau eines nationalen und internationalen Regelungsrahmens zu begleiten und die Integration von dauerhaften Carbon Removals in den EU-ETS aktiv zu unterstützen. Parallel wird eine umfassende Förder- und Anreizlandschaft für Forschung und Umsetzung aufgebaut (Bundesministerium Österreich, 2024).

Umsetzung und Infrastruktur

Österreich verfolgt einen mehrphasigen Ansatz im Bereich Carbon Management: Phase 1 umfasst die Analyse des Status Quo und die Erstellung eines Aktionsplans, wobei das vorliegende Dokument zusammen mit dem MRV 103a/1 (26.06.2024) den zentralen Meilenstein bildet.

Phase 2 ist in drei Teile gegliedert: Teil 1 fokussiert auf den Aufbau des rechtlichen Rahmens, insbesondere die Aufhebung des CCS-Verbots, die Schaffung gesetzlicher Grundlagen für CCS

und die Anpassung der Rechtslage zum CO₂-Transport. Internationale Kooperationen sowie die Weiterentwicklung technischer, rechtlicher, ökonomischer und politischer Rahmenbedingungen werden ebenfalls adressiert. Teil 2 konzentriert sich auf Infrastruktur und Umsetzung, einschließlich Planung und Ausbau der CCUS/tCDR-Infrastruktur, Festlegung von Mindestzielen für Abscheidung, Transport, Speicherung und technische Entnahme, Förderung von Forschung und Entwicklung, Unterstützung von Leit-, Pilot- und Demonstrationsprojekten, Aufbau von Verwaltungsstrukturen sowie Maßnahmen zur Erhöhung gesellschaftlicher Akzeptanz. Teil 3 behandelt die Umsetzung natürlicher Senken und ist somit für diese Arbeit nicht relevant. Der Aktionsplan wird im Dokument über 10 Seiten detailliert beschrieben und im Analyse-Abschnitt genauer bearbeitet (Bundesministerium Österreich, 2024).

2.4 Deutschland

Begriffe und Konzepte

Die deutsche Carbon Management-Strategie legt ihren Schwerpunkt klar auf die Technologien der CO₂-Abscheidung und -Speicherung (CCS) sowie der CO₂-Nutzung (CCU). Negative Emissionstechnologien (CDR) wie Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS) oder Direct Air Carbon Capture and Storage (DACCS) werden hingegen lediglich am Rande erwähnt und nicht systematisch ausgeführt. Dies ist vor dem Hintergrund zu verstehen, dass die Bundesregierung plant, eine gesonderte „Langfriststrategie Negativemissionen“ zu entwickeln, welche sich gezielt mit unvermeidbaren Restemissionen und diesen Technologien auseinandersetzen soll. Zwischen beiden Strategien wird es thematisch zu Überschneidungen kommen, jedoch erfolgt eine bewusste institutionelle Trennung zwischen dem Bereich des Carbon Managements und dem Bereich Negativemissionen also der Entnahme von CO₂ aus der Luft. Die Eckpunkte zur Langfriststrategie Negativemissionen wurden am 2. Juni 2025 veröffentlicht, wurden im Rahmen dieser Analyse jedoch nicht berücksichtigt.

Die CMS dient also als Grundlage zur Nutzung und Transport der genannten Technologie. Im Zentrum der deutschen CMS steht die Rolle von CCS und CCU als integrale Bestandteile eines umfassenden Technologiemies, der maßgeblich zur Dekarbonisierung schwer oder nicht vermeidbare Emissionen beitragen soll, als zentrale Anwendungsfelder wird die Industrie und die Abfallwirtschaft benannt. Der Einsatz von CCS/CCU wird dabei ausdrücklich auf Emissionen beschränkt, die als schwer oder nicht vermeidbar gelten. Eine klare Abgrenzung erfolgt gegenüber Emissionen aus der Kohleverstromung: Für diesen Bereich wird der Einsatz von CCS/CCU explizit ausgeschlossen (BMWE, 2024).

Zugang und Akteure

Sektoren: Der Zugang zu CCS/CCU ist in Deutschland klar sektoral differenziert geregelt und an die Bedingung schwer oder nicht vermeidbarer Emissionen geknüpft. Zugelassen sind laut den Eckpunkten insbesondere Sektoren wie die Zement- und Kalkindustrie, Teile der Grundstoffchemie sowie die thermische Abfallverwertung. Verstromungsanlagen mit gasförmigen Energieträgern oder Biomasse können ebenfalls CCS/CCU nutzen, sofern dies als Übergangstechnologie hin zu einem klimaneutralen Energiesystem dient. Ein Einsatz von CCS/CCU bei Kohle ist hingegen politisch ausgeschlossen. Die Bundesregierung verfolgt in diesem Zusammenhang einen technologieoffenen, aber gezielt steuernden Ansatz, der eine strategische Auswahl von Sektoren und Technologien ermöglicht.

Regulatorische und ökonomische Rahmenbedingungen: Der Zugang zu Speicherinfrastruktur wird durch das Kohlendioxid-Speichergesetz (KSpG) geregelt, das als zentrales Instrument der Zugangssteuerung dient und laut dem Dokument an gewissen Stellen noch angepasst werden muss. Die Onshore-Speicherung von CO₂ bleibt grundsätzlich untersagt, kann aber durch ein Opt-in einzelner Bundesländer ermöglicht werden. Die Offshore-Speicherung ist erlaubt, muss jedoch in bestehende Meeresraumplanungen integriert werden, was angesichts konkurrierender Nutzungsansprüche – etwa durch Offshore-Windenergie – planerische Herausforderungen mit sich bringt.

Institutionelle Zuständigkeiten und Akteursrollen: Der CO₂-Transport, insbesondere durch Pipelines, soll primär durch privatwirtschaftliche Akteure organisiert werden und eine Anbindung an Speicherprojekte im Ausland wird als essenziell angesehen (BMWE, 2024).

Risiken

In der deutschen Carbon Management Strategie wird der Begriff „Carbon Lock-in“ nicht explizit verwendet, jedoch finden sich zahlreiche Passagen, die auf die Vermeidung entsprechender Risiken abzielen. So ist die Nutzung von CCS/CCU bei Kohleverstromung grundsätzlich ausgeschlossen, und der Ausstieg aus fossilen Energieträgern wird klar bekräftigt. Fördermaßnahmen sind ausschließlich für Technologien mit nicht-fossilen Energieträgern oder für klar befristete Übergangslösungen – etwa auf Wasserstoffbasis – vorgesehen. Während CCS/CCU bei Erdgas technisch zugelassen ist, entfällt hier eine staatliche Förderung.

Eine geplante Anpassung des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes (KSpG) soll sicherstellen, dass Kohlekraftwerke CCS nicht einsetzen können. Gleichzeitig verfolgt die Strategie industriepolitische Ziele: Schlüsselindustrien wie die Zement- und Kalkproduktion sollen durch

den Einsatz von CCS/CCU im Land gehalten und wettbewerbsfähig bleiben. Um Investitionssicherheit zu schaffen und Fehlinvestitionen zu vermeiden, ist ein strukturierter Dialog mit der Industrie über Übergangsregelungen vorgesehen. Ziel ist es, industrielle Wertschöpfung und Arbeitsplätze am Standort Deutschland langfristig zu sichern (BMWE, 2024).

Förderung und Regulierung

In der deutschen Carbon Management Strategie wird deutlich, dass das Kohlendioxid- In der deutschen Carbon-Management-Strategie bildet das Kohlendioxid-Speichergesetz (KSpG) den zentralen Eckpfeiler. Auf Grundlage zahlreicher Studien und des Evaluierungsberichts 2022 wird betont, dass ab 2030 relevante Mengen an CO₂ abgeschieden und gespeichert oder genutzt werden müssen, um die Klimaneutralität bis 2045 zu erreichen. Das KSpG soll dafür umfassend reformiert werden, insbesondere um CO₂-Pipelines sowie Offshore-Speicherung zu ermöglichen und internationale Kooperationen bspw. durch die Ratifizierung des London-Protokolls, abzusichern. Onshore-Speicherung bleibt untersagt, mit Ausnahmen über eine Opt-in-Regelung für Bundesländer. Für Kohlekraftwerke ist CCS/CCU ausgeschlossen, bei Gaskraftwerken nur eingeschränkt möglich.

Für Schlüsselindustrien wie Zement oder Kalk wird eine Anschubfinanzierung als notwendig erachtet, da der CO₂-Preis allein nicht ausreicht, um die Technologie wirtschaftlich tragfähig zu machen. Bei Standortwahl und Genehmigungen werden ökologische Kriterien und hohe Umweltstandards betont, insbesondere zur Vermeidung von Leckagen durch striktes Monitoring. Planungsbeschleunigungen, vor allem für CO₂-Pipelines, sollen den Markthochlauf erleichtern. Zudem schafft die Integration von CCS/CCU in das EU-Emissionshandelssystem durch die Befreiung von der Zertifikatspflicht für dauerhaft gespeichertes CO₂ eine klare Anreizstruktur (BMWE, 2024).

Umsetzung und Infrastruktur

Deutschland strebt Klimaneutralität bis 2045 an. Großtechnische CCS/CCU-Anwendungen sollen spätestens ab 2030 in relevanten Mengen zum Einsatz kommen und werden als Teil eines breiteren Technologiemies betrachtet. Der Energiesektor wird parallel durch den Ausbau erneuerbarer Energien und wasserstofffähiger Gaskraftwerke gestützt.

Zentral für die Umsetzung ist eine Anpassung des Rechtsrahmens, um den Aufbau von CO₂-Pipelines zu ermöglichen, die als entscheidende, kosteneffiziente Transportlösung großer Mengen gelten. Aufgrund langsamen Aufbaus eigener Speicher wird Deutschland kurzfristig

auf Kooperationen mit Projekten im Ausland – etwa in Norwegen – angewiesen sein, während zugleich die Erschließung eigener Offshore-Speicher in der ausschließlichen Wirtschaftszone vorangetrieben wird. Genehmigungsverfahren stoßen dabei noch auf veraltete Regelungen und fehlende gesetzliche Grundlagen.

Der Aufbau der Infrastruktur soll vor allem privatwirtschaftlich erfolgen, dabei wird erwartet, dass es oft mit Wasserstoffnetzbetreibern zu Überschneidungen kommen kann. Bis Pipelines verfügbar sind, erfolgt der Transport über Bahn, Schiff oder LKW. Erfahrungen aus internationalen Referenzprojekten wie Slepner in Norwegen dienen als Vorbild für sichere CO₂-Speicherung. Das Forschungsprojekt in Ketzin (Brandenburg) hat im Demonstrationsmaßstab die sichere CO₂-Speicherung gezeigt und verdeutlicht, dass Deutschland durch eigene Speicher langfristig Verantwortung übernehmen will. (BMWE, 2024).

2.5 Zwischenfazit

Die vergleichende Auswertung der vorliegenden Strategiedokumente zeigt ein kohärentes Grundbild, aber deutliche nationale Nuancen in der strategischen Ausrichtung des Carbon Managements.

Begriffe und Konzepte:

Die Schweiz verfolgt einen technologieoffenen Portfolioansatz, legt den Schwerpunkt jedoch auf CCS und NET, während CCUS eine geringere Rolle spielt. Auseinandersetzung mit „hard-to-abate“ fehlt. Österreich integriert technische und naturbasierte Senken breiter, definiert „hard-to-abate“-Sektoren differenzierter und verweist auf eine Vielzahl technischer wie auch naturbasierter Optionen. Deutschland konzentriert sich operativ auf CCS/CCU und trennt diese klar von einer eigenständigen Langfriststrategie zu Negativemissionen. In allen drei Ländern zeigt sich das Konzept „Mitigation-first“: Vorrang hat die Emissionsminderung, erst danach erfolgt der Einsatz von Technologien zur Behandlung von Restemissionen. Eine präzise Definition oder systematische Auseinandersetzung mit dem Begriff Restemissionen fehlt jedoch in allen Strategien.

Zugang und Akteure

Oft werden ähnliche Sektoren für den Einsatz von Carbon-Management-Technologien genannt, vor allem Industrie (Abfall, Zement/Kalk, Chemie) sowie Landwirtschaft. In allen drei Ländern ist der Zugang an die Unvermeidbarkeit von Emissionen gebunden, wird jedoch unterschiedlich

ausgestaltet. Die Schweiz fokussiert CCS auf schwer vermeidbare Emissionen und sieht CDR insbesondere für die Landwirtschaft vor; diskutiert werden marktliche und staatliche Zugangswege, während die institutionellen Zuständigkeiten zwischen Bund, Kantonen und Wirtschaft noch nicht abschließend geklärt sind. Österreich behandelt „hard-to-abate“-Sektoren besonders detailliert, unterscheidet zwischen Industrie- und Nicht-Industriesektoren und setzt auf eine eigene Governance-Struktur, um Zugangsbedingungen festzulegen. Deutschland differenziert sektoral klar und knüpft den Einsatz an schwer oder nicht vermeidbare Emissionen; Gas ist unter bestimmten Bedingungen als Übergangstechnologie zugelassen, während der Einsatz bei Kohle ausgeschlossen bleibt. Zentrales regulatorisches Instrument ist das KSpG, das Offshore-Speicherung erlaubt, Onshore jedoch nur eingeschränkt zulässt. Während in Deutschland der Aufbau von CO₂-Pipelines weitgehend privatwirtschaftlich organisiert ist, setzen die Schweiz auf kooperative Governance und Österreich auf formalisierte Steuerungsstrukturen. Industrie, Forschung und Verwaltung nehmen in allen drei Ländern Schlüsselrollen ein.

Risiken: Carbon-Lock-in & Mitigation-Deterrence

Die Länder zeigen Sensibilität gegenüber Pfadabhängigkeiten, wenn auch unterschiedlich ausgeprägt. In der Schweiz wird das Risiko eines Carbon Lock-in nicht explizit thematisiert, jedoch werden implizite Vorsorgeprinzipien erkennbar: Emissionsvermeidung hat oberste Priorität, CCS und NET dienen als ergänzende Maßnahmen, parallele Optionenentwicklung reduziert Pfadabhängigkeiten, und knappe Speicherressourcen sollen gezielt genutzt werden. Österreich adressiert Lock-in-Risiken am deutlichsten und verankert diese als Bewertungskriterium in der Strategie. Auch in Deutschland wird Carbon Lock-in nicht explizit genannt; das Land setzt stattdessen auf Sektorenausschlüsse (z. B. kein Kohle-CCS) und bekräftigt Ausstiegsziele, wobei industriepolitische Schutzinteressen weiterhin sichtbar bleiben.

Förderung und Regulierung

Die Länder unterscheiden sich in der Ausgestaltung von Förder- und Regulierungsmaßnahmen für Carbon Management. Die Schweiz verfolgt einen technologieoffenen Ansatz, unterstützt Pilotprojekte und Forschung, bindet Kantone, Wirtschaft und Forschung ein und strebt internationale Kooperationen zur Beschaffung negativer Emissionen an; der regulatorische Rahmen wird laufend angepasst. Österreich priorisiert den Aufbau eines umfassenden Rechtsrahmens, die Umsetzung der EU-CCS-Richtlinie und eine Förderlandschaft von

Forschung bis umfangreiche Anwendung. Deutschland stützt sich auf das KSpG und das EU-Emissionshandelssystem, ergänzt durch gezielte Förderungen für Schlüsselindustrien.

Umsetzung und Infrastruktur

Zeitpläne und Infrastrukturausrichtung unterscheiden sich zwischen den Ländern: Die Schweiz verfolgt eine Zwei-Phasen-Strategie mit einer Pionierphase bis 2030, in der erste CO₂-Abscheideanlagen und Pilotprojekte umgesetzt werden, und einer Skalierungsphase 2031–2050; geologische Inlandsspeicher werden frühestens ab Mitte der 2030er Jahre verfügbar sein, sodass alternative Speicherformen wie Karbonatisierung oder langlebige Produkte früher relevant werden. Österreich gliedert das Carbon Management in mehrere Phasen von Analyse über Rechtsrahmen bis hin zu Infrastrukturaufbau und Skalierung, unterstützt durch Pilot- und Demonstrationsprogramme. Deutschland plant großtechnische Anwendungen ab 2030, den Aufbau von Pipelines und Offshore-Speichern und will kurzfristig auf Auslandsspeicher zurückgreifen.

3. Analyse I

Die Analyse erfolgt entlang von vier entwickelten, übergeordneten Dimensionen. Methodisch lehnt sich das Vorgehen an die Arbeit von Schenuit et al. (2021) an, die in einer vergleichenden Policy-Analyse zu CDR-Politiken in neun OECD-Ländern die Bedeutung einheitlicher Vergleichsebenen für länderübergreifende Analysen hervorheben.

Begriffe und Konzepte von Carbon Management sowie die Risikodimension wurden in einer gemeinsamen Dimension gebündelt, da die Analyse sowohl die Verwendung zentraler Begriffe (z. B. CCS, CDR) als auch die Thematisierung von Risiken wie Carbon Lock-in oder Mitigation Deterrence berücksichtigt, wodurch eine Zusammenführung sinnvoll erscheint.

Die zweite Dimension „Zugang“ umfasst die institutionellen, rechtlichen und sektoralen Rahmenbedingungen für Carbon-Management-Technologien.

Drittens bezieht sich die Dimension Förderung auf staatliche Maßnahmen, Programme oder Instrumente, die entweder explizit als Förderung benannt werden oder auf direkten Einfluss öffentlicher Akteure bei der Umsetzung hinweisen.

Schließlich umfasst die Dimension Umsetzung alle Elemente, die mit der praktischen Realisierung von Carbon Management verbunden sind, etwa Pilotprojekte, Infrastrukturen, institutionelle oder regulatorische Maßnahmen.

Dieses vierdimensionale Analyseraster deckt eine ausreichende inhaltliche Breite ab, um die leitende Forschungsfrage sowie die Unterfragen zu beantworten, und ermöglicht zugleich eine systematische Strukturierung und Vergleichbarkeit der Strategien der untersuchten Länder.

3.1 Begriffe und Risiken

Im analysierten Dokument der Schweiz wird der Begriff „Restemissionen“ lediglich einmal erwähnt, und zwar im Zusammenhang mit der geplanten Zwei-Phasen-Strategie, in der dargelegt wird, dass Restemissionen, beispielsweise aus der Landwirtschaft, die nicht direkt abgeschieden werden können, durch negative Emissionen (NET/CDR) ausgeglichen werden sollen: „Wegen angenommener begrenzter NET-Kapazitäten im Inland müssen bis 2050 zusätzlich voraussichtlich rund 5 Mio. Tonnen negative Emissionen im Ausland realisiert werden, um Restemissionen, etwa aus der Landwirtschaft, auszugleichen und das Netto-Null-Ziel zu erreichen“ (Bundesrat, 2022, S.8). Ein Großteil dieser Emissionen soll demnach über DACCS im Ausland kompensiert werden, was zu modellierten jährlichen Kosten von etwa 2,3 Mrd. CHF führt (Bundesrat, 2022, S.4). Obwohl die konkreten Standorte für DACCS nicht spezifiziert sind, nennt der Bericht potenzielle geologische Speicherorte für CO₂ unter anderem „Northern Lights“ in Norwegen, „Codaterrminal“ in Island, „Aramis“ in den Niederlanden sowie „Acorn“ in Schottland. (Bundesrat, 2022, S.7). Erwähnenswert ist, dass Begriffe und Risiken wie „Mitigation Deterrence“ oder „Carbon Lock-in“ im Bericht nicht explizit diskutiert werden. Jedoch gilt der Grundsatz: „Je weniger Treibhausgasemissionen bis 2050 mit CCS und NET adressiert werden müssen, umso eher wird deren Ausbau umsetzbar: technisch, finanziell und politisch“ (Bundesrat, 2022, S.3).

Österreich nennt als einziges der drei Länder das Risiko eines Carbon Lock-in explizit und betont dessen Risiko und Einfluss mehrfach. Das Risiko wird zunächst im Zusammenhang mit der Bewertung der Klimarelevanz innerhalb der gesamten CCUS-Kette aufgeführt: „Wichtige Kriterien für die Bewertung sind neben dem Beitrag zur Erreichung verbindlicher Klimaziele das Risiko von Lock-in-Effekten, aber auch Infrastrukturanforderungen, sozioökonomische Auswirkungen und ökologische Bewertungsdimensionen“ (Bundesministerium Österreich, 2024, S.12) Auch im Kontext der Entwicklung von Kriterien zur Bewertung verschiedener tCDR-Technologien wird das Risiko hervorgehoben: „Dabei sollen auch mögliche Zielkonflikte und das Risiko von Lock-in Effekten in fossilen Technologien berücksichtigt werden“ (Bundesministerium Österreich, 2024, S. 16). Darüber hinaus wird der Aspekt in der Definition von „hard-to-abate“-Emissionen des Wissenschaftsbeirats aufgegriffen. Hier wird betont: „Insgesamt soll mit der gewählten Definition einerseits eine Schwächung der

Anstrengungen zur Emissionsminderung und zur Steigerung der Energieeffizienz vermieden und andererseits das Risiko von ‚stranded assets‘, ‚fossil lock-ins‘ und volkswirtschaftlich unerwünschten Pfadabhängigkeiten reduziert werden“ (Bundesministerium Österreich, 2024, S. 21). Abschließend findet sich der Verweis auf das Risiko auch in den Auswahlkriterien für förderfähige Projekte: „Dabei ist sicherzustellen, dass das Risiko von Lock-in-Effekten in fossilen Technologien bei geförderten Projekten minimiert wird“ (Bundesministerium Österreich, 2024, S. 34). Insgesamt lässt sich festhalten, dass Österreich das Risiko eines Carbon Lock-in nicht nur erkannt, sondern es auch konsequent und verbindlich in die strategische Ausrichtung integriert hat, wobei dies bislang noch nicht rechtlich bindend ist. Gleichzeitig verdeutlicht dies, dass die österreichische Strategie Lock-in als direkt operationalisierbares Kriterium versteht, das die Planung, Infrastrukturentwicklung und Bewertung neuer Technologien beeinflusst und damit stärker als in Deutschland oder der Schweiz in die strategische Steuerung eingebunden ist.

Ergänzend dazu ist das „Mitigation/Energy-efficiency First“-Prinzip fest in der Strategie verankert. Demnach sollen CCS, CCU und tCDR-Technologien nur dort eingesetzt werden, wo Emissionsvermeidung technisch oder wirtschaftlich nicht möglich ist. Vorrangige Maßnahmen zur kosteneffektiven Minderung und Vermeidung von Treibhausgasemissionen sind dabei die Substitution fossiler Energieträger durch nachhaltige, erneuerbare Energiequellen sowie Effizienzsteigerungen im Energieeinsatz (Bundesministerium Österreich, 2024, S. 4).

Auffällig ist, dass Österreich trotz der wissenschaftlich präzisen Bezugnahme auf den Lock-in-Begriff im Bereich der Terminologie nicht immer konsequent arbeitet. So werden die Begriffe „Restemissionen“ und „schwer bzw. nicht vermeidbare Treibhausgasemissionen“ weitgehend synonym verwendet, während „hard-to-abate“-Emissionen und schwer vermeidbare Emissionen teilweise im selben Abschnitt erscheinen. Dies führt zu terminologischer Unschärfe. Zusätzlich wird im Abschnitt zur mengenmäßigen Einordnung zukünftig notwendiger CCUS- und CDR-Aktivitäten (Bundesministerium Österreich, 2024, S. 6) der Begriff „Residualemissionen“ eingeführt, ohne dass dieser im Dokument klar definiert oder von den anderen Begriffen abgegrenzt wird. Bezogen auf die „Residualemissionen“ unterscheidet Österreich zwischen „Industry“ und „Non-Industry“. Eine detaillierte Auseinandersetzung mit dieser Differenzierung erfolgt jedoch in einem späteren Abschnitt der Analyse.

Im deutschen Strategiedokument werden die Begriffe „Mitigation Deterrence“ und „Carbon Lock-in“ zwar weder explizit verwendet noch systematisch behandelt, dennoch lassen sich verschiedene politische Weichenstellungen erkennen, die mit diesen Konzepten in Verbindung

gebracht werden können. Obwohl Deutschland nicht explizit von der Vermeidung eines Carbon Lock-in spricht, lässt sich die Zielrichtung erkennen, die technologische Abhängigkeit von fossilen Energien schrittweise zu reduzieren. Besonders betont wird, dass der Ausstieg aus der Kohleverstromung und im weiteren Verlauf der vollständige Ausstieg aus fossilen Energieträgern zentrale Eckpfeiler dieser Strategie sind (BMWE, 2024, S.1) Vor diesem Hintergrund wird die Nutzung von CCS/CCU in der Kohleverstromung kategorisch ausgeschlossen. Um dies rechtlich abzusichern, soll das Kohlendioxid-Speicherungsgesetz so angepasst werden, dass der Transport von Emissionen aus kohlebefeuelten Anlagen über CO₂-Leitungsnetze grundsätzlich untersagt ist. Gleichzeitig zeigt sich ein pragmatischer Ansatz: Im Sinne eines ‚technologieoffenen Übergangs‘ (BMWE, 2024, S.2) ist die Anwendung von CCS/CCU bei Verstromungsanlagen, die mit gasförmigen Energieträgern oder Biomasse betrieben werden, zulässig, wobei dieser offiziell als Übergang gedachte Einsatz in der Praxis fossile Pfade stabilisieren könnte, was auf ein potenzielles Carbon Lock-in hinweist, dessen tatsächliche Ausprägung jedoch von der zukünftigen Entwicklung abhängen wird. Die Priorisierung nicht-fossiler Anwendungen von CCS/CCU kann als indirekte Maßnahme zur Risikominderung interpretiert werden. Auch ist die staatliche Förderung auf nicht-fossile Anwendungen beschränkt, um Fehlanreize zu vermeiden und den Übergang zu emissionsfreien Technologien zu beschleunigen.

Gleichzeitig bleibt jedoch ein Spannungsfeld bestehen: Einerseits sollen Klimaziele konsequent verfolgt werden, andererseits gilt es, den Industriestandort zu sichern und zentrale Branchen wettbewerbsfähig zu halten. Besonders deutlich wird dies bei Industriezweigen wie der Zement- und Kalkproduktion, die nach aktuellem Stand der Technik weiterhin mit unvermeidbaren CO₂-Emissionen verbunden sind. Das Strategiedokument betont, dass die CO₂-Neutralität dieser Branchen ohne den Einsatz von CCS/CCU selbst bei ambitionierten Maßnahmen in den Bereichen Kreislaufwirtschaft, Recycling und alternativen Baustoffen „nicht realistisch denkbar“ sei (BMWE, 2024, S.3). Ähnliches gilt für Teile der Abfallwirtschaft, bei denen ebenfalls technisch unvermeidbare Emissionen auftreten. CCS/CCU fungiert also nicht nur als Klimaschutzmaßnahme, sondern auch als industriepolitisches Instrument zur Sicherung von Arbeitsplätzen und Wertschöpfung in Deutschland.

Im deutschen Strategiedokument werden Restemissionen und Technologien zur Erzeugung negativer Emissionen (z. B. DACCS, BECCS) nur am Rande thematisiert. Statt einer detaillierten Behandlung dieser Aspekte verweist das Dokument auf eine separate „Langfriststrategie Negativemissionen“, in der diese Themen vertieft behandelt werden sollen.

Folglich finden sich in dem analysierten Dokument selbst nur begrenzte Ausführungen zu Restemissionen oder spezifischen CDR-Technologien.

Vergleich

Die drei Strategien basieren alle auf dem Konzept, dass Emissionsvermeidung Vorrang vor der Nutzung technischer Senken hat, und sie erkennen an, dass CCS und NET für die Behandlung unvermeidbarer Emissionen notwendig sind. Unterschiede zeigen sich jedoch in der politischen Steuerung und im Umgang mit möglichen Pfadabhängigkeiten. Österreich geht hier am weitesten: Das Risiko von Carbon Lock-in wird ausdrücklich benannt und ist als Kriterium für Bewertung und Förderung fest in der Strategie verankert. Deutschland verfolgt einen eher pragmatischen und industriepolitischen Ansatz. Zwar werden Lock-in-Risiken in Deutschland nicht direkt thematisiert, aber es lässt sich eine bewusst sektorale Steuerung erkennen: Der Ausschluss von CCS bei Kohlekraftwerken zeigt, dass Deutschland einerseits darauf achtet, fossile Strukturen nicht mithilfe von CCS/CCU aufrechtzuerhalten, während andererseits die Anwendung bei gasbefeuerten Anlagen als Übergangstechnologie erlaubt ist. Dies sendet gemischte Signale und weist zugleich auf potenzielles Lock-in bzw. Pfadabhängigkeit hin. Deutschland betont besonders die Rolle von Schlüsselindustrien wie Zement oder Kalk, die nach heutigem Stand der Technik mit unvermeidbaren Emissionen verbunden sind. CCS/CCU wird hier als notwendiges Instrument verstanden, um die Wettbewerbsfähigkeit und die industrielle Wertschöpfung in Deutschland langfristig zu sichern. Damit verfolgt die Bundesregierung einen industriepolitisch pragmatischen Kurs, der zwar nicht direkt zu Carbon Lock-in führt, aber potenziell Schnittstellen eröffnet, an denen zukünftige Abhängigkeiten entstehen könnten, sofern Übergangsstrategien nicht konsequent weiterentwickelt werden. Die Schweiz behandelt Risiken wie Carbon Lock-in oder Mitigation Deterrence im strategischen Dokument nicht explizit. CCS und NET werden, wie in den anderen Ländern als ergänzende Maßnahmen für technisch schwer vermeidbare Emissionen ausgewiesen. Zwar werden die Sektoren für die Anwendung genannt, daraus lassen sich jedoch keine belastbaren Rückschlüsse auf die Risikolage ziehen. Solange keine gezielte Auseinandersetzung mit den Risiken erfolgt oder Hinweise auf deren Bestehen erkennbar sind, bleibt die Aussagekraft dieser Hinweise begrenzt.

3.2 Zugang

Schweiz

Sektoren: Auf Basis der Energieperspektiven 2050+ schätzt die langfristige Klimastrategie, dass die schwer vermeidbaren Emissionen aus Industrie, Abfallwirtschaft und Landwirtschaft im Jahr 2050 bei rund 12 Mio. Tonnen CO₂eq liegen werden. Davon könnten etwa 5 Mio. Tonnen durch CCS adressiert werden, während die verbleibenden rund 7 Mio. Tonnen durch Negativemissionstechnologien ausgeglichen werden müssten (Bundesrat, 2022, S.4). Aus diesem Abschnitt wird, wenn auch nicht ausdrücklich, deutlich, dass CCS und NET vor allem für schwer vermeidbare Emissionen vorgesehen sind, etwa in der Zementindustrie, bei Kehrichtverbrennungsanlagen oder für Restemissionen aus der Landwirtschaft. Zudem werden die zehn strategischen Grundsätze der langfristigen Klimastrategie einbezogen, wobei insbesondere Grundsatz 3 hervorzuheben ist: „Emissionen primär und möglichst vollständig im Inland reduzieren. Auf Grund ihrer beschränkten Potenziale werden CCS und NET für die technisch sehr schwer vermeidbaren Emissionen reserviert“ (Bundesrat, 2022, S.6). Im Bericht wird nicht explizit und eindeutig festgelegt, dass der Zugang zu den Technologien ausschließlich für schwer vermeidbare Emissionen vorgesehen ist, die Formulierungen kommen diesem Ansatz jedoch sehr nahe.

Regulatorisch: Die Schweiz kennt im Unterschied zu Österreich kein Verbot von Carbon-Management-Technologien; vielmehr sind sie seit 2021 als Bestandteil der langfristigen Klimastrategie zur Erreichung des Netto-Null-Ziels bis 2050 sowie der Verpflichtungen aus dem Pariser Übereinkommen vorgesehen. Der Bericht versteht sich selbst als Grundlage für politische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Entscheidungen: „Mit diesem Bericht will der Bundesrat die angestrebten Rahmenbedingungen und nötigen Entscheide für die Politik, Wirtschaft und Gesellschaft sichtbar machen“ (Bundesrat, 2022, S.3).

Es lässt sich somit feststellen, dass CCS und NET durch die langfristige Klimastrategie grundsätzlich in den strategischen Planungsinstrumenten des Bundes verankert sind. Die konkrete Ausgestaltung und Umsetzung bleibt jedoch weiteren Schritten vorbehalten und wird im Rahmen dieser Arbeit noch vertieft untersucht.

Weiter werden die Rolle von Öl- und Gasindustrien oder anderen fossilen Energieträgern im schweizerischen Dokument nicht ausführlich behandelt. Erwähnt wird lediglich im Abschnitt zur Pionierphase bis 2030 der Einsatz von Biogas: „Mit einem Pilotprojekt unter der Leitung der ETH Zürich («DemoUpCARMA») wird im Zeitraum 2021–2023 zum einen erstmals

biogenes CO₂ aus Bern nach Island transportiert und dort dauerhaft gespeichert werden (ca. 1000 Tonnen CO₂) und zum anderen die gezielte Speicherung von CO₂ in Beton optimiert (ca. 500 Tonnen CO₂, Karbonatisierung)“ (Bundesrat, 2022, S.7). In diesem Zusammenhang wird auch ein möglicher nächster Skalierungsschritt genannt, nämlich die gezielte Sammlung und Speicherung von CO₂ an Biogasanlagen. Damit zeigt sich, dass CCS zumindest in Pilotprojekten auch im Kontext von Gas – wie konkret in diesem Fall Biogas aus einer Kläranlage – zum Einsatz kommen kann (Becattini & Mazzotti, 2023). Da es sich hierbei jedoch um ein Pilotprojekt handelt, ist eine abschließende Bewertung noch nicht möglich.

Institutionell: Darüber hinaus wird in der Schweiz ein besonderes Gewicht auf die Einbindung von Wissenschaft und Wirtschaft gelegt. Der Bericht betont hierzu: „Die Schweizer Forschung und Wirtschaft sind bei CCS und insbesondere NET heute zum Teil führend; auch der Bund schreitet voran mit neuartigen Konzepten der internationalen Klimakooperation – zwischen Staaten aber auch unter Einbezug von freiwilligen Märkten“ (Bundesrat, 2022, S.3). Gleichzeitig bleiben zentrale institutionelle Fragen offen, insbesondere die Zuständigkeiten zwischen Bund und Kantonen für Transport- und Speicherinfrastrukturen. Da wesentliche Regulierungsbefugnisse auf kantonaler Ebene liegen, wird ein kooperatives Vorgehen betont, bei dem der Bund eine koordinierende und unterstützende Rolle einnimmt. Forschung, Wirtschaft und Gesellschaft werden als Schlüsselakteure für Innovation, Akzeptanz und die Entwicklung systemischen Wissens hervorgehoben, wodurch ein breiter Multi-Akteurs-Ansatz institutionell verankert wird (Bundesrat, 2022, S.11).

Österreich

Sektoren: Szenarien zufolge liegen die fossilen und geogenen CO₂-Emissionen im Bereich „Industry“ im Jahr 2040 zwischen 4,4 und 12,1 Mio. t jährlich und müssten mithilfe von CCS, CCU oder CDR adressiert werden. Zusätzlich könnten 1–2 Mio. t aus der Verbrennung nachhaltiger Biomasse anfallen, die – sofern biogenen Ursprungs – ein Potenzial für negative Emissionen darstellen. Für den Bereich „Non-Industry“ (Landwirtschaft ohne energetische Emissionen, F-Gase, Abfallwirtschaft ohne Verbrennung) prognostiziert der Bericht Residualemissionen von rund 5 Mio. t im Jahr 2040, die durch CDR kompensiert werden müssten (Bundesministerium Österreich, 2024, S.6).

Für den Bereich „Industry“ werden als relevante Sektoren insbesondere „Steine und Erden, Glas (u. a. Zementindustrie, Kalkindustrie) und die Metallindustrie sowie teilweise

verbleibende energetische Emissionen aus den Anlagen der Raffinerie und der Müllverbrennung“ genannt (Bundesministerium Österreich, 2024, S.22).

Der Zugang wird dabei bewusst offen formuliert: „Sektoren und Prozesse, für die entsprechend obigen Definitionen mittel- bis langfristig das Entstehen von THG-Emissionen nicht verhindert werden kann, gelten als grundsätzlich für CCUS bzw. CDR basierend auf natürlichen und technischen Senken geeignet“ (Bundesministerium Österreich, 2024, S.22).

Regulatorisch: In Österreich ist die geologische Speicherung von CO₂ seit 2011 durch Bundesgesetz (BGBl. I Nr. 144/2011) verboten, was auch zum Zeitpunkt der Analyse dieser Arbeit noch gilt. Gleichwohl hält die Carbon-Management-Strategie ausdrücklich fest: „Auf Grund technologischen Fortschritts und Daten aus Realprojekten besteht ein breiter politischer Konsens, das derzeitige generelle Verbot der geologischen CO₂-Speicherung im Bundesgebiet aufzuheben und für schwer bzw. nicht vermeidbare THG-Emissionen in ‚hard-to-abate‘-Sektoren unter strengen Sicherheits- und Umweltauflagen zuzulassen (vgl. Ministerrat Nr. 90/9; 6. März 2024)“ (Bundesministerium Österreich, 2024, S.5). Die Aufhebung des Verbots bildet den ersten Schritt der Phase 2 der Strategie. Parallel dazu ist die vollständige Umsetzung der EU-Richtlinie über die geologische Speicherung von Kohlendioxid (2009/31/EG) in nationales Recht erforderlich (Bundesministerium Österreich, 2024, S.26).

Institutionell: Eine Besonderheit der österreichischen Strategie ist die Einrichtung eines eigenen Wissenschaftsbeirats (WB), der zentralen Elemente wie die Definition von „hard-to-abate“-Emissionen und Anwendungsbereiche von CCUS/CDR entwickelt und der Steuerungsgruppe (BMF und BMK) als Grundlage für rechtliche Rahmenbedingungen dient (Bundesministerium Österreich, 2024, S.24).

Der WB definiert „hard-to-abate“-Emissionen primär nach dem Kriterium der Vermeidbarkeit und betont dabei das Prinzip „Mitigation/Energy-efficiency First“. Die vorgeschlagene Definition lautet: „Prozessbedingt anfallende CO₂-Mengen gelten insoweit als unvermeidbar, als deren Entstehung trotz Optimierung des Produktionsverfahrens oder des Produktes nicht vermieden werden kann. Als unvermeidbar im Rahmen der Transformation zu einer klimaneutralen Grundstoffindustrie gelten diese CO₂-Mengen dann, wenn keine alternativen Prozesse und keine alternativen Produkte oder Ressourcen für denselben Anwendungsfall verfügbar sind bzw. deren Potenziale begrenzt sind“ (Bundesministerium Österreich, 2024, S.22).

Deutschland

Sektoren: CCS/CCU wird als Teil eines Instrumenten- und Technologiemies für die Dekarbonisierung insbesondere der Industrie und Abfallwirtschaft betrachtet (BMWE, 2024, S.3). Genannt werden explizit die Sektoren Zement, Kalk und Grundstoffchemie; auch in der thermischen Abfallbehandlung soll die Anwendung erfolgen. Darüber hinaus wird ein künftiger Zugang für weitere Industrieprozesse offengehalten, „solange die Umstellung auf Elektrifizierung oder Wasserstoff absehbar noch nicht kosteneffizient möglich ist“ (BMWE, 2024, S.4). Zwar gilt CCS/CCU in bestimmten Industrieprozessen als unerlässlich, doch wird der Zugang perspektivisch auf diese „hard-to-abate“-Sektoren beschränkt bleiben und nicht länger fossilen Energieträgern wie Gas offenstehen, da deren Nutzung nach 2045 beendet sein soll. Neben dem Ausbau erneuerbarer Energien ist der Zugang sektoral differenziert geregelt: Für Kohleverstromung bleibt CCS/CCU ausgeschlossen, während es bei Gas- und Biomasseanlagen im Sinne eines „technologieoffenen Übergangs“ zugelassen ist (BMWE, 2024, S.2/4).

Regulatorisch: Im deutschen Dokument werden die regulatorischen Eckpunkte des Zugangs zu Carbon-Management-Technologien umrissen, wobei die zentrale Zielsetzung die Erreichung der Klimaneutralität bis 2045 ist. Der Ausbau von CCS/CCU wird explizit in den Kontext der Treibhausgas-minderungsziele des Klimaschutzgesetzes (KSG) gestellt (BMWE, 2024, S.2/5). Einen hohen Stellenwert nimmt das Kohlendioxid-Speichergesetz (KSpG) ein, insbesondere in Bezug auf den Transport über Pipelines. Dessen Umsetzung soll durch privatwirtschaftliche Akteure erfolgen, vorausgesetzt, bestehende Rechtsunsicherheiten werden behoben.

Weitere rechtliche Schritte umfassen die Ratifizierung der Änderung des London-Protokolls zur Ermöglichung des CO₂-Exports für Offshore-Speicherung sowie Anpassungen des Hohe-See-Einbringungsgesetzes (BMWE, 2024, S.2). Zudem wird die Erkundung von Offshore-Speicherstätten in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) ermöglicht, wobei Injektionen in Meeresschutzgebieten ausgeschlossen bleiben. Auf dem Festland ist geologische Speicherung weiterhin untersagt, könnte jedoch durch eine Anpassung des KSpG auf Antrag einzelner Bundesländer ermöglicht werden (BMWE, 2024, S.3). Als übergeordnete Bezugspunkte werden die von der Europäischen Kommission vorgelegte Industrial Carbon Management Strategy sowie der Net Zero Industry Act genannt, die als Grundlage für eine EU-weite Koordinierung von Speicherinfrastrukturen dienen (BMWE, 2024, S.6).

Institutionell: Die Bundesregierung begründet die Öffnung für Offshore-Speicherung mit dem Verweis auf die Sicherheit geologischer Projekte, wie sie seit 1996 im norwegischen Projekt Sleipner nachgewiesen werde. Zusätzlich verweist sie auf Vorteile der deutschen AWZ, wo hohe Umwelt- und Meeresschutzstandards gelten und die Küstennähe potenzielle Kostenvorteile ermögliche. Gleichzeitig wird betont, dass CCS aufgrund unvollständiger Abscheideraten „nach dem heutigen Stand der Technik keine vollständig klimaneutrale Technologie“ darstellt (BMWE, 2024, S.5). Deshalb wird im Dialog mit Unternehmen bereits die Frage diskutiert, wie Energieinfrastrukturen ab 2045 nur noch auf nicht-fossilen Brennstoffen weitergeführt werden können.

Vergleich

Alle drei Länder erkennen die Notwendigkeit von CCS/CCU und Negativemissionstechnologien für schwer vermeidbare Emissionen an und betonen die Wichtigkeit der Emissionsvermeidung. Gemeinsam ist zudem der Fokus auf energieintensive Industrien wie Zement, Kalk, Grundstoffchemie und Abfallwirtschaft als zentrale Anwendungsfelder. Jenseits dieser Gemeinsamkeiten treten jedoch deutliche Unterschiede im Zugang und in der institutionellen Ausgestaltung hervor. In der Schweiz wird CCS primär für industrielle Prozesse wie Zement und Abfallwirtschaft vorgesehen, während CDR für Restemissionen aus der Landwirtschaft vorgesehen ist. Fossile Energieträger spielen keine entscheidende Rolle wie beispielsweise in Deutschland, abgesehen von einzelnen Pilotprojekten mit Biogas. Während in Österreich im Jahr 2025 noch ein Verbot für diese Technologien besteht, sind sie in der Schweiz bereits seit 2021 Teil der langfristigen Klimastrategie. Deutschland verfolgt hingegen einen sektoral differenzierten und industriepolitisch geprägten Ansatz. Der Zugang zu CCS/CCU wird bestimmten Schlüsselindustrien, etwa Zement, Kalk, Grundstoffchemie und Abfallwirtschaft ausdrücklich eröffnet, während Anwendungen in der Kohleverstromung ausgeschlossen bleiben. Gasverstromung ist als Übergangslösung zulässig, wird aber nicht gefördert. Einen Schwerpunkt bildet die Offshore-Speicherung in der deutschen AWZ, wo hohe Umweltstandards gelten, und Kostenvorteile erwartet werden, somit ist der sektorale Zugang in Deutschland deutlicher formuliert, wie in der Schweiz. Dasselbe lässt sich auch von Österreich behaupten. Die Regulierung in Deutschland erfolgt primär durch den Bund in enger Anbindung an europäische Strategien, während den Bundesländern eine begrenzte Mitentscheidung über mögliche Onshore-Speicher zukommt. Österreich unterscheidet sich grundlegend, da die geologische Speicherung von CO₂ derzeit noch gesetzlich verboten ist. Die

Strategie sieht jedoch eine Aufhebung des Verbots vor, beschränkt auf schwer vermeidbare Emissionen in „hard-to-abate“-Sektoren und unter strengen Auflagen. Eine Besonderheit ist die starke Einbindung des Wissenschaftsbeirats, der zentrale Definitionen und Kriterien entwickelt und die Grundlage für künftige Regelungen bildet. Der Zugang wird vergleichsweise weit gefasst, da neben der Industrie auch Non-Industry-Sektoren einbezogen werden. Gleichzeitig ist die Öffnung eng mit EU-Vorgaben und einem schrittweisen Vorgehen verknüpft. Im Ergebnis zeigen sich unterschiedliche Governance-Philosophien: Deutschland setzt auf eine sektoral klar differenzierte und industriepolitisch geprägte Regulierung mit Fokus auf Schlüsselindustrien und Offshore-Speicherung. Österreich verfolgt einen vorsichtigen, wissenschaftlich gestützten Öffnungsansatz, der noch durch ein bestehendes Speicherverbot begrenzt ist, aber schrittweise im Einklang mit EU-Vorgaben ausgeweitet werden soll. Die Schweiz hingegen integriert CCS und NET bereits strategisch in ihre Klimastrategie, verfügt aber noch über ungeklärte institutionelle Zuständigkeiten, insbesondere im Hinblick auf Transport- und Speicherinfrastruktur.

Exkurs Restemissionen

Es ist festzuhalten, dass im österreichischen Dokument zwar ein eigenes Kapitel dem Wissenschaftsbeirat gewidmet wird, in dem Kernelemente wie die Definition von „hard-to-abate“-Emissionen in Bezug auf „Industry“ und „Non-Industry“ ausführlich diskutiert und präzisiert werden. Gleichzeitig wird jedoch im Abschnitt zu quantitativen Emissionsmengen und Zugangsfragen der Begriff „Residualemissionen“ eingeführt und in Verbindung mit den Kategorien „Industry“ und „Non-Industry“ (bspw. Landwirtschaft) verwendet. Dadurch entsteht eine faktische Gleichsetzung von „Residualemissionen“ und „hard-to-abate“-Emissionen (Bundesministerium Österreich, 2024, S.6).

Ein Vergleich mit der schweizerischen Strategie verdeutlicht diese Unschärfe: Dort werden „Restemissionen“ primär auf die Landwirtschaft bezogen, die im Unterschied zu industriellen Prozessen nicht direkt mit CCS adressiert werden kann und deshalb durch CDR-Technologien kompensiert werden muss. Diese Differenzierung spiegelt auch die gängige funktionale Zuordnung wider: Während „hard-to-abate“-Emissionen in der Regel industrielle Prozesse betreffen, die nach aktuellem Stand der Technik nicht vollständig vermeidbar sind und daher durch CCS/CCU reduziert werden können, bezeichnen „Restemissionen“ Emissionen aus Sektoren, in denen technische Vermeidung oder Abscheidung kaum möglich ist. In solchen Fällen, etwa in der Landwirtschaft, bleibt die Kompensation über den Einsatz von CDR die einzige realistische Option.

Im österreichischen Dokument hingegen bleibt diese terminologische Abgrenzung unscharf, da „Residualemissionen“ nicht eindeutig definiert, sondern faktisch mit „hard-to-abate“ gleichgesetzt werden. Zusätzlich findet man zu Beginn der Strategie den Begriff von Restemissionen, welcher auch falsch eingesetzt wurde. Dies führt zu Inkonsistenzen und erschwert die klare Trennung zwischen verschiedenen Emissionskategorien, was wiederum auch politische Folgen haben kann: Unscharfe Terminologie erschwert die Entwicklung klarer Strategien, da unklar bleibt, welche Emissionen durch CCS/CCU adressiert und welche durch CDR kompensiert werden sollen. Damit entsteht das Risiko, dass Maßnahmen fehlgeleitet werden oder Prioritätensetzungen in der Klimapolitik unklar bleiben.

3.3 Förderung

Der Bund sieht sich in der Verantwortung, förderliche Maßnahmen für CCS und NET zu entwickeln und als Vorbild zu agieren, da deren Einsatz eine direkte Folge der Verpflichtungen aus dem Pariser Klimaabkommen ist. Institutionell bestehen jedoch Einschränkungen, da es bislang keine Verfassungsgrundlage für die Regulierung von CO₂-Transport- und Speicherinfrastrukturen auf Bundesebene gibt. Zuständig sind daher die Kantone, die auch in Raumplanung, Genehmigungsverfahren und Innovationsförderung eine zentrale Rolle übernehmen. Der Bundesrat fördert Carbon Management grundsätzlich folgendermaßen: „Im Sinne einer Orientierungshilfe für die öffentliche Hand sowie für Forschung und Wirtschaft werden im Folgenden Zwischenschritte skizziert, die bis 2050 für den nötigen Ausbau von CCS und NET heute als sinnvoll erachtet werden“ (Bundesrat, 2022, S.6). Er hebt zusätzlich hervor: „Nach aktueller Einschätzung des Bundesrates sind es nicht primär technologische Hürden, die einen Ausbau von CCS und NET heute behindern, sondern eher fehlende Investitionssicherheit für die Akteure“ (Bundesrat, 2022, S.10). Dementsprechend werden Zwischenschritte und Maßnahmenpakete skizziert, die sowohl nationale als auch internationale Kooperationen einschließen. Besondere Bedeutung hat die Förderung von Forschung und Innovation. Der Bundesrat betont, dass die Technologien grundsätzlich ausgereift genug für Pilotprojekte und Nischenmärkte seien, zugleich aber entlang des gesamten Innovationszyklus weiterer Forschungsbedarf bestehe, insbesondere in Bezug auf Messbarkeit, Umweltbilanzen, Sicherheit, Kostenoptimierung, Transportinfrastruktur sowie sozialwissenschaftliche Fragen wie Akzeptanz und Gerechtigkeit.

Zur Konkretisierung benennt die Strategie zahlreiche Maßnahmen auf nationaler Ebene (Bundesrat, 2022, S.12–13) darunter:

- Branchenvereinbarungen mit Kehrriichtverwertungsanlagen zur Inbetriebnahme mindestens einer Abscheidungsanlage bis 2030,
- Anrechnung von CCS im Emissionshandelssystem,
- Festlegung von Schadstoffgrenzwerten für Abscheidungsanlagen,
- Entwicklung rechtlicher Grundlagen für Bau, Betrieb, Zwischenspeicherung und Transport,
- ein nationales Erkundungsprogramm für geologische Speicher,
- eine „Strategie Untergrund Schweiz“ für integrierte 3D-Raumplanung,
- sowie die Erforschung von Kohlenstoffspeicherung in Böden.

Auf nationaler Ebene wird zudem die Einrichtung einer Arbeitsgruppe zu CCS/NET unter Einbezug von Kantonen und Wirtschaft angestrebt sowie die Unterstützung von Initiativen wie der «Swiss Carbon Removal Plattform» (Bundesrat, 2022, S.14). International setzt die Schweiz auf die Anpassung völkerrechtlicher Rahmenbedingungen im London-Protokoll, Absichtserklärungen mit Partnerstaaten (Island 2021, Niederlande 2022) sowie auf mindestens zwei Abkommen über CO₂-Export und die Beschaffung negativer Emissionen (Bundesrat, 2022, S.14). In der Forschungsförderung werden Pilotprojekte wie «DemoUpCARMA» unterstützt, NET-Forschungsbedarfe im Konzept Umwelt 2021–2024 verankert und bestehende Förderinstrumente für CCS/NET geprüft (Bundesrat, 2022, S.15). Der regulatorische Rahmen wird laufend angepasst und weist eine hohe institutionelle Dichte auf, wobei die Schweiz einen pragmatischen, technologieoffenen und multilateralen Ansatz verfolgt. Es ist jedoch zu beachten, dass das untersuchte Dokument aus dem Jahr 2022 stammt und damit bereits über drei Jahre alt ist. Seitdem wurde die Anwendung von CCS und NET in der Schweiz gesetzlich weiter verankert.

Österreich benennt insbesondere in Phase 2 - Teil 2, konkrete Fördermechanismen. Dazu gehört die Schaffung eines rechtlichen und organisatorischen Rahmens zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten für CCUS/tCDR. Die CMS betont, dass entlang der gesamten Kette sowohl technologische Weiterentwicklungen als auch der Ausbau von Infrastruktur unerlässlich sind. Geprüft werden soll insbesondere, inwiefern bestehende Förder- und Anreizprogramme genutzt oder angepasst werden können und welche rechtlichen und

organisatorischen Reformen erforderlich sind (Bundesministerium Österreich, 2024, S.32). Gleichzeitig hält die CMS fest: „Die Entwicklung hinreichender, objektiver und transparenter Kriterien zur Feststellung der Förderwürdigkeit“ (Bundesministerium Österreich, 2024, S.32) sowie eine zielorientierte Konzeption seien Grundvoraussetzungen für eine wirksame Förder- und Anreizlandschaft. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Förderung von Leit-, Pilot-, Demonstrations- und Reallaborprojekten sowie Machbarkeitsstudien im Bereich CCUS/tCDR. Angesichts der hohen Kosten in frühen Entwicklungsphasen wird eine zusätzliche – auch temporäre – finanzielle Unterstützung in Form von CAPEX- und OPEX-Förderungen entlang der gesamten Kette in Aussicht gestellt. Auch hier verweist die CMS auf die zuvor genannten Voraussetzungen (Kriterien und zielorientierte Konzeption), um den erfolgreichen Aufbau einer nachhaltigen Förder- und Anreizlandschaft sicherzustellen (Bundesministerium Österreich, 2024).

Deutschland widmet der Förderung von Carbon-Management-Technologien ein eigenes Kapitel und verweist zunächst auf den EU-Emissionshandel (EU ETS), der bereits ökonomische Anreize für den Einsatz von CCS/CCU setzt; bspw. liegt der CO₂-Preis über den Kosten für CCS, ergäbe sich ein direkter wirtschaftlicher Anreiz. Die gesamte CCS-Kette unterliegt zudem den Bestimmungen der Monitoring-Verordnung des EU ETS. Es wird festgehalten: „Mit der gerade abgeschlossenen Reform des EU ETS wurden zudem die Anrechenbarkeit von CCU neben CCS im Emissionshandel geregelt und praktische Hürden für den Aufbau einer Transportinfrastruktur beseitigt“ (BMWE, 2024, S.4). Dazu wird nur erwähnt, dass für CCS die Zertifikatabgabepflicht im EU ETS unabhängig vom Transportweg entfällt; bei CCU entfällt diese Pflicht ebenfalls, sofern das CO₂ dauerhaft in Produkten gebunden wird. Die Bundesregierung findet, dass diese Regelungen eine wesentliche Grundlage für die Wirtschaftlichkeit von den Technologien bilden, auch wenn der EU ETS die konkrete Umsetzung der Transportinfrastruktur nicht vollständig regelt. Gleichzeitig wird betont, dass nach aktuellen Analysen nicht davon auszugehen ist, dass allein der CO₂-Preis am Markt die Kosten von CCS/CCU decken kann. Daher wird eine staatliche Förderung zum Hochlauf der Technologien als notwendig erachtet: „Deshalb wird die staatliche Förderung für CCS/CCU – wo sie sich als notwendig erweist – auf schwer oder nicht vermeidbare Emissionen in der Industrie und der Abfallwirtschaft fokussiert“ (BMWE, 2024, S.4). Fördermaßnahmen konzentrieren sich folglich auf diese Sektoren, während eine Förderung von CCS/CCU bei fossilen Kraftwerken ausdrücklich ausgeschlossen bleibt. Als konkretes Instrument verweist die Bundesregierung auf den Entwurf der Förderrichtlinie Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (FRL BIK), der die Einführung eines speziellen Fördermoduls für Carbon-

Technologien vorsieht: „Mit diesem Modul sollen Vorhaben der Industrie und der Abfallwirtschaft zum Einsatz oder zur Entwicklung von CCS und CCU gefördert werden können, soweit es sich um Sektoren gemäß der Carbon Management-Strategie handelt, in denen überwiegend schwer vermeidbare CO₂-Emissionen anfallen“ (BMWE, 2024, S.5). Erfasst sind dabei sowohl Investitions- als auch Forschungs-, Innovations- und Entwicklungsvorhaben, ebenso wie Projekte, die auf die Erzielung von Negativemissionen abzielen (BMWE, 2024). Ergänzend sieht die CMS sogenannte Klimaschutzverträge zwischen Staat und Unternehmen vor, mit denen Unternehmen gegen Preisrisiken abgesichert und Mehrkosten für Umstellungen ausgeglichen werden sollen. Sobald die regulatorischen Rahmenbedingungen geschaffen sind, können Unternehmen, die mit CCS/CCU zur Treibhausgasminderung beitragen, als förderfähig eingestuft werden (BMWE, 2024). Für den Hochlauf der CCS/CCU-Kette spielt zudem der Aufbau einer Pipeline-Infrastruktur eine zentrale Rolle. Allerdings bestehen erhebliche Rechtsunsicherheiten, etwa durch fehlende und veraltete Verweise des Kohlendioxid-Speichergesetzes (KSpG) auf das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG). Dadurch ist eine Umsetzung, auch in Form eines europäischen Verbundprojekts, derzeit nicht möglich. Die Bundesregierung beabsichtigt daher, den Rechtsrahmen anzupassen. Gleichzeitig verweist sie darauf, dass sich potenzielle Betreiber des Wasserstoff-Kernnetzes mit jenen eines CO₂-Pipelinenetzes überschneiden könnten, was zu Koordinationsproblemen führen kann. Um Verzögerungen zu vermeiden, sind beschleunigte Planungs- und Genehmigungsverfahren vorgesehen. Schließlich plant die Bundesregierung auch eine Ratifizierung der Änderung des London-Protokolls, um den Export von CO₂ zur Speicherung im Ausland zu ermöglichen (BMWE, 2024).

Vergleich

Im direkten Vergleich zeigt sich, dass die Schweiz, Deutschland und Österreich jeweils eigene Schwerpunkte bei der Förderung von Carbon-Management-Technologien setzen, diese jedoch stets eng an übergeordnete internationale Verpflichtungen anknüpfen. Gemeinsam ist den drei Ländern, dass staatliche Förderung als notwendiger Bestandteil für den Hochlauf von CCS- und NET-Technologien verstanden wird, da ein rein marktgetriebener Ausbau angesichts hoher Kosten und fehlender Investitionssicherheit nicht realistisch erscheint. Auch betonen alle Strategien die Rolle von Forschung, Innovation und Pilotprojekten, wobei der Weg von der Erprobung hin zur großräumigen Anwendung durch gezielte staatliche Maßnahmen begleitet werden soll. Deutlich werden jedoch Unterschiede in der institutionellen Ausgestaltung und in der Schwerpunktsetzung. Die Schweiz verfolgt einen stark pragmatischen, technologieoffenen

und multilateralen Ansatz, wobei der Bund seine Verantwortung zur Förderung betont, institutionell jedoch auf die Kompetenzen der Kantone angewiesen bleibt. Fördermaßnahmen umfassen hier eine Vielzahl an rechtlichen, strategischen und technischen Anpassungen, ergänzt durch internationale Kooperationen und Abkommen. Im Zentrum steht die Kombination aus einer Pionierphase bis 2030 und einer anschließenden Skalierung bis 2050. Deutschland behandelt die Förderung explizit in einem eigenen Kapitel. Während der EU ETS bereits eine Anreizstruktur bietet, verweist die Bundesregierung explizit auf die Notwendigkeit zusätzlicher staatlicher Förderung, konzentriert auf schwer vermeidbare Emissionen in Industrie und Abfallwirtschaft. Besondere Bedeutung haben Förderinstrumente wie die geplante Förderrichtlinie Bundesförderung Industrie und Klimaschutz sowie Klimaschutzverträge zwischen Staat und Unternehmen. Gleichzeitig wird der Aufbau einer CO₂-Pipeline-Infrastruktur als Schlüsselfaktor hervorgehoben, wenngleich rechtliche Unsicherheiten diesen Prozess bislang hemmen. Die Förderung wird in Österreich zweistufig organisiert: zunächst durch die Schaffung eines rechtlichen Rahmens, der unter anderem den CO₂-Transport und Genehmigungsverfahren betrifft, und in einem zweiten Schritt durch gezielte Maßnahmen zur Unterstützung von Forschung, Entwicklung sowie Pilot- und Demonstrationsprojekten. Auffällig ist der starke Fokus auf die Entwicklung transparenter Kriterien und Bewertungsmaßstäbe für die Förderwürdigkeit, womit Österreich den Aufbau einer konsistenten und langfristig tragfähigen Förderarchitektur sichern will.

3.4 Umsetzung

Das schweizerische Dokument versteht sich weniger als verbindlicher Handlungsrahmen, sondern vielmehr als Orientierungshilfe. Dennoch werden zentrale strategische Eckpfeiler festgelegt, die sich stark an den zehn Grundsätzen der langfristigen Klimastrategie orientieren. Diese umfassen etwa die Ausschöpfung von Chancen für den Forschungs- und Innovationsstandort Schweiz, die vorrangige Reduktion von Emissionen im Inland, einen sparsamen Umgang mit Energieträgern, die koordinierte Planung von Bund und Kantonen, eine nachhaltige Entwicklung sowie das Festhalten an einem technologieoffenen Portfolioansatz (Bundesrat, 2022, S.5-6). Der Ausbau von CCS und NET wird in zwei Phasen gegliedert: die Pionierphase (2022–2030) und die Skalierungsphase (2031–2050). Für die erste Phase hält der Bundesrat fest: „Die Pionierphase ist aus Sicht des Bundesrates grundsätzlich mit den aktuellen Rahmenbedingungen und Weiterentwicklungen sowie einem gut koordinierten Vorgehen der relevanten Akteure machbar; für die Umsetzung der Skalierungsphase sind voraussichtlich größere Weichenstellungen nötig, allenfalls auch auf Verfassungsebene“ (Bundesrat, 2022, S.6).

In dieser Pionierphase wird die dauerhafte Speicherung von rund 0,5 Mt. CO₂ bis 2030 als Richtwert genannt. Dieses CO₂ könnte aus fossilen oder prozessbedingten Quellen stammen, ebenso wie aus Biomasse oder der direkten Luftabscheidung (Bundesrat, 2022, S.7). Zentral ist in diesem Zusammenhang das vom Bund unterstützte Pilotprojekt DemoUpCARMA, das bereits bei anderen Unterfragen Erwähnung fand, hier aber erneut hervorzuheben ist. Es soll insbesondere Erkenntnisse zur Machbarkeit von Exporten, zur Energie- und Umweltbilanz sowie zu Skalierungsfragen liefern (Bundesrat, 2022, S.7). In der Anfangsphase setzt die Schweiz vor allem auf CO₂-Speicherung in Baustoffen wie Beton (Karbonatisierung), da geologische Speicherstätten im Inland frühestens in 15–20 Jahren betriebsbereit sein werden. Erste Pilotprojekte könnten zwar schon vor 2030 beginnen, die Hauptlast wird jedoch auf ausländischen Speicherlösungen liegen: „Für die geologische CO₂-Speicherung im Ausland kann gemäß aktuellen Plänen von ausländischen Konsortien Für die Skalierungsphase von 2031 bis 2050 werden Richtwerte von 7 Mt. jährlicher Abscheidung genannt (2035: 1 Mt., 2040: 2 Mt., 2045: 5 Mt.), die durch CCS, BECCS und NET erreicht werden sollen. Angesichts begrenzter inländischer Kapazitäten sollen zudem bis 2050 weitere 5 Mt. negative Emissionen im Ausland realisiert werden (Bundesrat, 2022, S.8). Die langfristige Klimastrategie betont, dass die Schweiz CO₂ nach Möglichkeit im eigenen Untergrund oder in langlebigen Produkten speichern sollte. In Verbindung dazu wird die Exportabhängigkeit kritisch reflektiert, nicht zuletzt „wegen der großen europäischen Nachfrage nach CO₂-Speicherlösungen“ (Bundesrat, 2022, S.8). Schätzungen des Bundesamtes für Energie (BFE) veranschlagen ein inländisches Potenzial von 1–2,5 Mt. jährlich in fünf geologischen Speicherstätten sowie bis zu 2,5 Mt. in Abbruchbeton – wobei das Dokument selbst einräumt, dass das realisierbare Potenzial eher geringer sein dürfte (Bundesrat, 2022, S.8-9). Es wird aber auch betont, dass die inländische Speicherkapazitäten begrenzt sind, damit bleibt der Export ein unvermeidbarer Bestandteil, mit rund 4 Mt. jährlich bis 2050 (Bundesrat, 2022, S.9). Der Bundesrat hebt hervor, dass Investitionssicherheit eine Schlüsselfrage für den Ausbau ist, um sowohl die Klimaziele als auch die Chancen für Forschung und Wirtschaft zu realisieren (Bundesrat, 2022, S.10). In einem Maßnahmenplan formuliert er fünf zentrale Schwerpunkte: (1) langfristige Ziele präzisieren, etappieren und rechtlich verankern, wobei getrennte Ziele für Emissionsminderungen und negative Emissionen Klarheit schaffen könnten; (2) Qualitätskriterien und Standards für dauerhafte Senkleistung entwickeln und regelmäßig an wissenschaftliche Erkenntnisse anpassen; (3) marktwirtschaftliche Anreize und Märkte für Privatakteure schaffen, etwa über Kompensationspflichten oder den Emissionshandel; (4) physische und virtuelle Infrastruktur für Transport und Speicherung aufbauen und deren Finanzierung klären, wobei insbesondere

der Schienengüterverkehr als Ergänzung zu Pipelines genannt wird; (5) die Innovationsförderung stärken, um sowohl technologische als auch gesellschaftliche Aspekte von CCS und NET voranzutreiben (Bundesrat, 2022, S.11). Abschließend gehören auch bilaterale Staatsverträge hier erwähnt, wie beispielsweise Absichtserklärungen zur Kooperation im Bereich CCS/NET mit Island (2021) und Holland (2022) (Bundesrat, 2022, S.14).

Deutschland formuliert das Ziel, bis 2045 eines der ersten großen klimaneutralen Industrieländer zu werden. Die Bundesregierung betont dabei, dass bestehende Hürden für die Anwendung von CCS und CCU beseitigt werden sollen. Dazu zählen insbesondere Anpassungen am Kohlendioxid-Speicherungsgesetz (KSpG), die Ratifizierung der Änderung des London-Protokolls sowie Änderungen am Hohe-See-Einbringungsgesetz. Zudem wird die Erkundung von Offshore-Speicherstätten in der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) gesetzlich ermöglicht (BMWE, 2024, S.2-3). Die Bundesregierung verknüpft diesen Schritt ausdrücklich mit einer übergeordneten Verantwortung: „Deutschland übernimmt hiermit Verantwortung für das hier angefallene CO₂ und macht sich gleichzeitig unabhängiger von Zugängen zu Speichern der europäischen Nachbarstaaten. Deutschland kommt durch die Erschließung eigener Speicher zudem seiner Verantwortung als größter CO₂-Emittent der Europäischen Union und damit auch größtem Nutznießer europäischer Speicherstätten nach“ (BMWE, 2024, S.6). Die Bundesregierung betont, dass Klimaneutralität bis 2045 maßgeblich sei, zugleich aber der europäische Emissionshandel die Spielräume für CCS-Anwendungen verknappen wird: „Durch die Verknappung der Zertifikate im Europäischen Emissionshandel werden ohnehin voraussichtlich bereits deutlich vor 2045 verbleibende CO₂-Emissionen von CCS-Anlagen nur begrenzt möglich sein und müssen durch Negativemissionen ausgeglichen werden“ (BMWE, 2024, S.5). Im Koalitionsvertrag wurde zudem festgelegt, im Dialog mit Unternehmen Lösungen für Betriebsgenehmigungen von Energieinfrastruktur wie Kraftwerken oder Gasleitungen zu entwickeln. Diese sollen so gestaltet werden, dass der Betrieb über 2045 hinaus nur noch mit nicht-fossilen Brennstoffen erfolgen kann, ohne dass Investitionsstopps, Fehlinvestitionen oder Entschädigungsansprüche ausgelöst werden. Der Aufbau einer CO₂-Pipeline-Infrastruktur wird von der Bundesregierung als entscheidend und zugleich kostengünstigste Option hervorgehoben. Um diese Pläne zu realisieren, sollen bestehende Rechtsunsicherheiten, insbesondere im EnWG beseitigt werden (BMWE, 2024).

Österreich nennt das EU-Klimagesetz (Verordnung (EU) 2021/1119) als langfristige Rahmenbedingung und rechtliche Verankerung seiner Klimapolitik und versteht Carbon Management als Querschnittsmaterie, die zahlreiche Sachverhalte und Rechtsbereiche berührt.

Entsprechend wird die Kompatibilität der nationalen CMS mit zentralen Elementen der EU-Klimapolitik hervorgehoben: „insbesondere mit der EU-Emissionshandels-Richtlinie (EU-ETS-RL), der EU-Lastenteilungs-Verordnung (EU-ESR-VO) und der EU-LULUCF-Verordnung (EU-LULUCF-VO)“ (Bundesministerium Österreich, 2024, S.8). Die Strategie hält ausdrücklich fest, dass nur jene Aktivitäten, die im Einklang mit diesen rechtlichen Grundlagen stehen, auch tatsächlich einen positiven Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten können. Österreich positioniert sich damit klar innerhalb des europäischen Rahmens und betont die Bedeutung einer kohärenten Umsetzung und Regulierung auf Basis von EU-Recht.

Basierend auf dem setzt Österreich, wie auch die Schweiz auf einen Zwei-Phasen-Plan, wobei die erste Phase in der Analyse des Status quo und der Erstellung eines Aktionsplans besteht – die Carbon-Management-Strategie selbst – und die zweite Phase die Planung und Umsetzung konkreter Maßnahmen umfasst. Teil eins dieser zweiten Phase ist die Schaffung eines grundlegenden rechtlichen Rahmens.

Auf dieser Grundlage legt die CMS in Phase 2 – Teil 1 mehrere Maßnahmen zur Schaffung eines tragfähigen rechtlichen Rahmens dar. Dazu zählt zunächst die Evaluierung und Anpassung der Rechtslage für den rohrleitungsgebundenen CO₂-Transport: „Als einen ersten Schritt hat das BMK eine Machbarkeitsstudie über ein CO₂-Sammel- und Transportnetz in Österreich beauftragt“ (Bundesministerium Österreich, 2024, S.25). Weitere Schritte betreffen umfassende rechtliche Begleitmaßnahmen entlang der gesamten CCUS/tCDR-Kette. Genannt werden unter anderem Berichtspflichten im Rahmen des EU-NZIA, die Erhebung und öffentliche Bereitstellung geologischer Daten über CO₂-Speicherung, die Definition von Entscheidungskriterien bei konkurrierender Nutzung des Untergrunds sowie die Entwicklung von Bewertungskriterien für konkurrierende Rohstoff- und Energieverwendungen durch tCDR-Verfahren. Ergänzend sollen Lebenszyklusanalysen und Bewertungsschemata erarbeitet sowie Genehmigungsverfahren geprüft und angepasst werden (Bundesministerium Österreich, 2024, S.27-28). Darüber hinaus legt die CMS ein besonderes Gewicht auf die Verbesserung internationaler Kooperationen und Koordinationen sowie die Weiterentwicklung technischer Grundlagen. Dazu gehören die Erarbeitung einheitlicher technischer Standards, die Schaffung fairer ökonomischer Rahmenbedingungen und die aktive Mitwirkung in internationalen Austausch- und Kooperationsformaten (Bundesministerium Österreich, 2024, S.28-29).

Zentrale Maßnahmen zum Aufbau und zur Umsetzung lassen sich in mehrere Schwerpunkte gliedern. Erstens soll eine wissenschaftlich fundierte und gesamtheitliche Planungsbasis für den Hochlauf der notwendigen CCUS- und tCDR-Infrastruktur geschaffen werden. Diese umfasst

die Identifikation und Analyse nationaler Speicherbedarfe (Quellen) im Abgleich mit nationalen und internationalen Speicherkapazitäten (Senken), die geographische Analyse von CO₂-Quellen und -Senken, die Planung einer nationalen und grenzüberschreitenden Transportinfrastruktur sowie die Bewertung verschiedener tCDR-Aktivitäten hinsichtlich ihres technischen, wirtschaftlichen und nachhaltigen Potenzials zur Generierung von Negativemissionen. Ergänzend sollen Investitionsbedarfe und mögliche Kostentragungssysteme ermittelt, Pilot- und Leitprojekte identifiziert und techno-ökonomische Analysen durchgeführt werden. Potenzielle nationale CCUS-Cluster sollen evaluiert und gezielt regional unterstützt werden, wobei ein Zusammenwachsen dieser Cluster eine überregionale Infrastruktur ermöglichen könnte. Der Wissenschaftsbeirat übernimmt eine beratende Rolle, insbesondere aufbauend auf den Erfahrungen zur Definition der „hard-to-abate“-Sektoren (Bundesministerium Österreich, 2024, S.29-30). (2) Zweitens wird die Schaffung eines rechtlichen Rahmens für Mindestziele zur Abscheidung, zum Transport, zur Speicherung sowie für CO₂-Entnahmen aus technischen Senken angestrebt, einschließlich der Sicherstellung von Speicherkapazitäten im europäischen Ausland (Bundesministerium Österreich, 2024, S.30). (3) Drittens soll ein organisatorischer und rechtlicher Rahmen zur Förderung von Forschung und Entwicklung entlang der gesamten CCUS- und tCDR-Kette etabliert werden. Dazu gehören die Identifikation nationaler Forschungsbedarfe, die Integration in bestehende Förderprogramme, notwendige Anpassungen bestehender Strukturen sowie die Analyse möglicher Reformen der Förder- und Anreizlandschaft (Bundesministerium Österreich, 2024, S.31-32). (4) Ein vierter Schwerpunkt betrifft die Förderung von Leit-, Pilot-, Demonstrations- und Reallaborprojekten sowie Machbarkeitsstudien. Genannt werden insbesondere großtechnische Machbarkeitsstudien zur geologischen Speicherung von CO₂ in Österreich. Hierbei verweist die CMS auf zwei wesentliche Optionen: heimische Kohlenwasserstofffelder (KW-Felder) sowie heimische salinare Aquifere. Während KW-Felder nach Regierungsangaben gut erforscht sind und ab 2030 genutzt werden könnten, mit einer Gesamtspeicherkapazität zwischen 150 und 250 Mt. und einer Einspeicherungsrate von bis zu 6 Mt. pro Jahr, gelten salinare Aquifere als potenziell weitaus größer, mit Speicherkapazitäten im Gigatonnenbereich. Diese sind jedoch bisher kaum erschlossen und könnten mittelfristig erst zwischen 2030 und 2040 eine Rolle spielen. Als weitere Option sieht Österreich die Nutzung geologischer Speicherstätten im europäischen Ausland (Bundesministerium Österreich, 2024, S.13-14). (Fünftens soll eine effektive Verwaltungs- und Behördenstruktur geschaffen werden, wofür etwa die Einrichtung von „one-stop-shops“ oder „single points of contact“ geprüft wird (Bundesministerium Österreich, 2024, S.33) in sechster Schwerpunkt

betrifft die Möglichkeit, im Zuge eines koordinierten Hochlaufs der Infrastruktur aktiv einzelne Leit- und Pilotprojekte anzustoßen und zu fördern. Dazu gehören Projekte zur (temporären oder permanenten) Speicherung von CO₂, innovative CCU-Verfahren im industriellen und nicht-industriellen Maßstab sowie Projekte zur Generierung von Negativemissionen mittels BECCS (Bundesministerium Österreich, 2024, S.34). Schließlich hebt die CMS als siebten Punkt die Bedeutung der gesellschaftlichen Akzeptanz hervor, die durch proaktive Öffentlichkeitsarbeit gestärkt werden soll. Ziel ist eine breite Information über Sicherheit, Anwendungsbereiche und Notwendigkeit von CCUS und tCDR in Österreich (Bundesministerium Österreich, 2024, S.34).

Vergleich

Bezüglich der geplanten Umsetzung von Carbon-Management-Technologien zeigen sich deutliche Unterschiede der drei Ländern, auch wenn alle ein stufenweises Vorgehen als notwendig anerkennen. Die Schweiz hebt Pilot- und Demonstrationsprojekte als Grundlage für den späteren Hochlauf hervor, während Deutschland und Österreich stärker auf rechtliche Anpassungen und infrastrukturelle Voraussetzungen fokussieren. Sowohl die Schweiz als auch Österreich verfolgen dabei explizit eine Zwei-Phasen-Struktur, die jedoch unterschiedlich ausgestaltet ist: In der ersten Phase strebt die Schweiz bereits die konkrete Speicherung eines Richtwerts von 0,5 Mt. CO₂ an und initiiert damit erste Schritte zur Anwendung und zum Ausbau. Die erste Phase Österreichs hingegen umfasst die Analyse des Status quo und die Erstellung der Carbon-Management-Strategie (CMS). Betrachtet man die Veröffentlichungsdaten, wird deutlich, dass die Schweiz bereits 2022 konkrete Pilotprojekte umgesetzt hat und einen Ausbau bis 2030 plant, während Österreich erst 2024 ihre CMS veröffentlichte und damit Phase 1 abschließt. Deutschland hingegen verbleibt bislang beim reinen Eckpunktepapier, was im Vergleich zu den Fortschritten der beiden anderen Länder den deutlichsten Rückstand signalisiert.

Inhaltlich zeigen sich weitere Unterschiede: Die Schweiz ist am stärksten auf ausländische Speicherlösungen angewiesen. Pilotprojekte wie DemoUpCARMA erproben den Export von CO₂, während andere Projekte auf alternative Speicheroptionen wie Betonkarbonatisierung setzen; geologische Inlandsspeicher sind mittelfristig nicht realistisch. Deutschland verfolgt das Ziel, Offshore-Speicher in der Ausschließlichen Wirtschaftszone zu erschließen, um Abhängigkeiten von Nachbarstaaten zu reduzieren. Österreich erkennt die Bedeutung ausländischer Speicher zwar an, verweist aber zugleich auf heimische Potenziale in Kohlenwasserstofffeldern und salinaren Aquiferen, die langfristig erschlossen werden könnten.

Auch die Rolle der Infrastruktur variiert: In der Schweiz steht zunächst der flexible Transport über Bahn, LKW oder kleinere Pipelines im Vordergrund, während ein großflächiger Pipeline-Aufbau erst langfristig relevant wird. Deutschland betont bereits heute die Pipeline-Infrastruktur als zentrale und kosteneffiziente Lösung und verweist auf bestehende Rechtsunsicherheiten, die für einen beschleunigten Ausbau beseitigt werden sollen. Österreich nimmt eine Zwischenstellung ein: Die CMS hebt die Bedeutung von CO₂-Transportnetzen hervor, legt den Schwerpunkt jedoch zunächst auf Planungsgrundlagen, Szenarienanalysen und regionale Cluster, aus denen später eine nationale und grenzüberschreitende Infrastruktur entstehen soll.

Schließlich differieren die Länder auch in ihrer politischen Ausrichtung: Die Schweiz formuliert ihren Bericht primär als Orientierungshilfe und betont Technologieoffenheit sowie Investitionssicherheit. Deutschland stellt die Klimaneutralität bis 2045 in den Mittelpunkt und verknüpft regulatorische Änderungen klar mit diesem Ziel. Österreich legt besonderen Wert auf eine umfassende, wissenschaftlich fundierte Planungsbasis, die als Voraussetzung für alle weiteren Schritte verstanden wird.

4. Hauptteil II

4.1 Vertiefung Schweiz

Auf Grundlage der bisherigen Forschungsergebnisse und der analysierten Dokumente wird im Folgenden eine vertiefte Untersuchung der Schweizer Entwicklung im Bereich Carbon Management vorgenommen. Die Übersicht über die relevanten politischen und rechtlichen Dokumente dient dabei als Ausgangspunkt, um deren Zusammenspiel, Abgrenzungen und gegenseitige Beeinflussung nachzuvollziehen. Für die Analyse werden insbesondere die langfristige Klimastrategie des Bundesrates (2021) samt Ergänzung (2025), das revidierte CO₂-Gesetz (2024) mit zugehöriger Verordnung (2025) sowie das Klima- und Innovationsgesetz (2025) mitsamt Verordnung berücksichtigt. Dabei bilden die langfristige Klimastrategie und deren Ergänzung die politische Klimastrategie, während das CO₂-Gesetz die gesetzliche Grundlage bildet. Das Klima- und Innovationsgesetz kann als zusätzliches Klimaschutzgesetz verstanden werden, das das Netto-Null-Ziel bis 2050 rechtlich verankert. Aufbauend auf dieser Grundlage wird analysiert, wie diese Dokumente die heutige Ausgestaltung der Schweizer Carbon-Management-Strategie prägen. Anschließend werden die Ergebnisse im Vergleich zu Deutschland und Österreich diskutiert, um zentrale Gemeinsamkeiten und Unterschiede aufzuzeigen.

4.2 Langfristige Klimastrategie (2021)

Die Schweiz formuliert in der 2021 veröffentlichten Langfristigen Klimastrategie das Ziel, ihre Treibhausgasemissionen bis 2050 auf Netto-Null zu reduzieren – ein Vorhaben, das der Bundesrat bereits 2019 beschlossen hatte und das im Kontext der Verpflichtungen aus dem Pariser Abkommen steht. Damit wird Netto-Null als zentrale Leitlinie der nationalen Klimapolitik verankert.

Die Strategie hebt dabei die günstigen Rahmenbedingungen hervor, die der Schweiz für diesen Transformationspfad zur Verfügung stehen: „Die Schweiz verfügt dank ihrer bereits heute weitgehend CO₂-freien inländischen Stromversorgung, einer starken Cleantechbranche, ihren weltweit angesehenen Bildungs- und Forschungsinstitutionen, ihrem hohen Wohlstandsniveau und ihrer ausgeprägten Innovationskraft über die besten Voraussetzungen auf dem Weg in Richtung Netto-Null-Ziel“ (Bundesrat, 2021, S.4). Zugleich betont das Dokument, dass die Schweiz vom Klimawandel überdurchschnittlich stark betroffen ist: „Die bodennahe Lufttemperatur hat [...] zwischen 1871–1900 und 1991–2020 um etwa 2 Grad Celsius zugenommen – deutlich stärker als der weltweite Durchschnitt mit rund 1 Grad“ (Bundesrat, 2021, S.10). Besonders hervorgehoben wird der drastische Rückgang der Alpengletscher, die seit Mitte des 19. Jahrhunderts rund 60 % ihres Volumens verloren haben. Die langfristige Klimastrategie betont zudem die Chancen, die mit den Bestrebungen in Richtung Klimaneutralität einhergehen. Insbesondere wird die Möglichkeit hervorgehoben, die Rolle der Schweiz als international anerkannter Innovations- und Forschungsstandort weiter auszubauen. Dabei verweist das Dokument auf die hohe Reputation der Hochschulen und Forschungseinrichtungen, wobei die ETH Zürich und die EPFL Lausanne besonders herausgestellt werden (Bundesrat, 2021, S.9). Solche Verweise verdeutlichen, dass neben der klimapolitischen Zielsetzung auch die Stärkung des Innovationsstandorts als zentrales Anliegen verstanden wird. Untermauert wird dies durch Zahlen aus dem Jahr 2017, wonach die Schweiz rund 23 Mrd. Franken in Forschung und Entwicklung investierte, was etwa 3,4 % des BIP entspricht (Bundesrat, 2021, S.9). Die Langfristige Klimastrategie verweist auf zentrale rechtliche Rahmenbedingungen, insbesondere das CO₂-Gesetz. Für das Thema Carbon Management ist dabei vor allem die Verknüpfung des schweizerischen Emissionshandelssystems (EHS) mit jenem der EU (ETS) seit 2020 relevant. Im Bezug darauf wird explizit festgehalten: „Werden Treibhausgase mithilfe von Carbon Capture and Storage (CCS) am Entstehungsort abgeschieden oder durch Negativemissionstechnologien (NET) aus der Atmosphäre entfernt, können sie im EHS als Maßnahme zur Emissionsverminderung

angerechnet werden“ (Bundesrat, 2021, S.21). Damit wird die Rolle von CCS und NET klar im Emissionshandel verankert.

Darüber hinaus verweist die Strategie auf die ‚Gletscher-Initiative‘ von 2019, die eine zentrale und richtungsweisende Bedeutung besitzt einnimmt. Es handelt sich hier um eine eigenössische Volksinitiative, welches vorsah, dass die Ziele aus dem Pariser Klimaabkommen in der Verfassung niedergeschrieben werde und forderte unter anderem, dass die Schweiz ihre Emissionen bis 2050 auf Netto-Null reduziert und ab diesem Zeitpunkt keine fossilen Brenn- und Treibstoffe mehr in Verkehr gebracht werden dürfen – mit Ausnahme unvermeidbarer Fälle. Verbleibende Emissionen sollten ausschließlich durch sichere Senken im Inland ausgeglichen werden (Bundesrat, 2021, S.24-25). Unter Beschluss des Parlamentes wurde die Initiative abgelehnt und ein indirekter Gegenentwurf, das Klima- und Innovationsgesetz gegenübergestellt. Der Gegenentwurf gelangte am 18.6.2023 zur Volksabstimmung und wurde mit knapp 60% angenommen (BAFU, 2023; Bundeskanzlei, 2025). Der Bundesrat unterstützte zwar die Verankerung des Netto-Null-Ziels in der Verfassung, lehnte jedoch ein vollständiges Verbot fossiler Energieträger ab. Stattdessen sollten fossile Energien weiterhin zulässig sein, sofern sie aus Gründen der Landesversorgungssicherheit, des Bevölkerungsschutzes oder der wirtschaftlichen Tragbarkeit erforderlich sind. Zudem sollte die Schweiz nicht nur auf inländische, sondern auch auf ausländische Senkleistungen zurückgreifen können. Dadurch wurden die Klimaziele der Netto-Null-Strategie mit der Sicherung einer fossilen Energieversorgung kombiniert, um so einen politischen Kompromiss zwischen Netto-Null-Ziel und Energiesicherheit zu schaffen (Bundesrat, 2021, S.25).

Besondere Aufmerksamkeit erhält auch die Landwirtschaft. Der Bundesrat hebt hervor: „Die Tierhaltung hat in der Schweiz eine große Bedeutung. Rund 70 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Fläche wird als Grünland bewirtschaftet und über Wiederkäuer in Nahrung umgewandelt (Bundesrat, 2021, S.41) Da rund 85 % der landwirtschaftlichen Emissionen aus der Tierproduktion stammen, wird für 2050 mit etwa 4,1 Mt. unvermeidbaren Restemissionen gerechnet, die durch NET kompensiert werden sollen (Bundesrat, 2021, S.44). Für die Industrie prognostizieren die Energieperspektiven 2050+ rund 6 Mt. CO₂-Emissionen im Jahr 2050. Während bei der Zementproduktion und den Kehrrechtverbrennungsanlagen CCS im Vordergrund steht, sollen Restemissionen der Chemie- und Pharmabranche überwiegend durch NET ausgeglichen werden, da: „es sich in diesen Branchen in der Regel nicht um grosse Punktquellen handelt“ (Bundesrat, 2021, S.35). Unter Einbezug zusätzlicher

Minderungsmaßnahmen rechnet die Strategie für weitere Industriesektor mit rund 1,2 Mt. Restemissionen im Jahr 2050 (Bundesrat, 2021, S.34ff).

Von den zehn Grundsätzen der Klimastrategie sind insbesondere zwei relevant:

- Grundsatz 3: Die Emissionsminderung im Inland hat Vorrang, NET werden nur für schwer vermeidbare Emissionen vorgesehen. Zugleich sollen fossile Brenn- und Treibstoffe künftig nur noch in Ausnahmefällen eingesetzt werden (Bundesrat, 2021, S.17).
- Grundsatz 10: Die Strategie betont Technologieoffenheit, grenzt aber den Einsatz von NET klar ein: „Negativemissionstechnologien sollten deshalb nur unter der Einschränkung zum Einsatz kommen, dass spätestens im Jahr 2050 keine Treibhausgase aus fossilen Energieträgern mehr emittiert werden, die sich mit technischen Maßnahmen vermeiden lassen“ (Bundesrat, 2021, S.18).

Von besonderer Bedeutung ist das Kapitel zu Negativemissionstechnologien, das sich auf Vorarbeiten wie den Bericht der Stiftung Risiko-Dialog stützt (Beuttler, C et al., 2019). NET wird hier als komplementäres Element zur Emissionsminderung eingeordnet, wobei begrenzte Speicherpotenziale, langer Transport, hohe Kosten, mögliche Risiken, Akzeptanzfragen und technologische Unsicherheiten betont werden; ihr Einsatz ist auf schwer vermeidbare Emissionen beschränkt, und rechtzeitige nationale wie internationale Rahmenbedingungen sind nötig, während Forschung, Entwicklung und Umsetzung rasch vorangetrieben werden müssen: „Er (Bundesrat) stützt sich dabei stark auf einen Grundlagenbericht der Stiftung Risiko-Dialog und betont, dass NET kein Ersatz sind für die prioritäre und umfassende Reduktion der Treibhausgasemissionen“ (Bundesrat, 2021, S.50). Dies wird bekräftigt durch den Hinweis, dass in den Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie bereits heute emissionsfreie Alternativen bestehen, deren Potenziale bis 2050 weitgehend ausgeschöpft werden sollen, während auch nicht-energiebedingte Emissionen aus Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und Zementproduktion möglichst reduziert werden. Zudem unterstreicht die Strategie, dass entschlossenes Handeln erforderlich ist, da „die potentiell sehr hohen Kosten bei ungenügendem Klimaschutz ein entschlossenes Handeln rechtfertigen“ (Bundesrat, 2021, S.59).

Langfristig wird in der Strategie von 2021 der Einsatz von CCS und NET in der Schweiz angesehen, um Restemissionen aus Industrie, Kehrlichtverbrennung und Landwirtschaft auszugleichen und negative Emissionen zu erzeugen. In der Zementproduktion könnten 2050 rund 2,4 Mio. t CO₂eq durch CCS abgetrennt werden, bei Kehrlichtverwertungsanlagen wären

bei einer Abscheiderate von 90 % etwa 3,6 Mio. t CO₂ speicherbar, davon rund 1,3 Mio. t biogenen Ursprungs. Für die Landwirtschaft verbleiben rund 7 Mio. t CO₂eq, die über biogenen Abfall, Bodenbewirtschaftung, Holznutzung, Pflanzenkohle sowie potenziell DACCS und BECCS ausgeglichen werden sollen. Die Potenziale für NET und CCS sind jedoch mit Unsicherheiten behaftet, insbesondere hinsichtlich Energieaufwand, Biomassenutzung, Kosten und verfügbarer Speicherinfrastruktur. Für den internationalen Luftverkehr wird von einer nahezu vollständigen Umstellung auf synthetische Treibstoffe bis 2050 ausgegangen; verbleibende Emissionen müssten ebenfalls durch NET kompensiert werden (Bundesrat, 2021, S.52-53). Für abgeschiedenes CO₂ aus Industrieanlagen oder direkt aus der Luft braucht es geologische Speicher. Eine Wiederverwendung kann sinnvoll sein, etwa bei biogenem CO₂ oder Direct Air Capture, reicht langfristig aber nicht aus. Für Netto-Null ist die dauerhafte Speicherung entscheidend. Das Schweizer Potenzial für geologische Speicher ist noch unsicher, wird aber laut der Studie von Chevalier et al., 2010 auf rund 2,7 Mrd. t CO₂ geschätzt – etwa das 60-Fache der heutigen Jahresemissionen (Bundesrat, 2021, S.53).

Die Strategie hält abschließend fest, dass die Schweiz zur Erreichung von Netto-Null zwei parallele und gleichwertige Strategien verfolgen muss: Einerseits gilt es, sämtliche vermeidbaren Emissionen durch den Ersatz fossiler Energieträger, Effizienzsteigerungen und nachhaltige Produktionsweisen im Inland drastisch zu senken. Andererseits müssen CCS- und NET-Verfahren systematisch entwickelt und skaliert werden, um die unvermeidbaren Restemissionen – etwa aus der Zementproduktion, der Kehrlichtverwertung oder der Landwirtschaft – auszugleichen und längerfristig sogar negative Emissionen zu erzielen. Damit diese Doppelstrategie greift, sind klare regulatorische Anreize, verlässliche Infrastrukturen und Investitionen in Forschung, Pilotprojekte und internationale Kooperationen erforderlich. Von zentraler Bedeutung ist zudem die Festlegung getrennter Zielpfade: ein Absenkpfad für Treibhausgasemissionen sowie einem Zielwert bzw. Aufbaupfad für negative Emissionen. Diese getrennte Betrachtung ermöglicht eine transparente Fortschrittskontrolle und stellt sicher, dass sowohl die Emissionsreduktion als auch die Entwicklung von Senken die notwendige Priorität erhalten. Nur wenn beide Dimensionen konsequent und parallel vorangetrieben werden, kann die Schweiz ihre technische Machbarkeit in reale Zielerreichung umsetzen und die langfristige Klimaneutralität sichern (Bundesrat, 2021, S.55). Das revidierte CO₂-Gesetz definiert die Zielwerte bis 2030 und sieht eine Reduktion der inländischen Treibhausgasemissionen um mindestens 37,5 Prozent vor. Zugleich verpflichtet es den Bundesrat, dem Parlament rechtzeitig Vorschläge für die Festlegung von Minderungszielen nach 2030 zu unterbreiten. Damit soll die Schweiz auf Kurs in Richtung einer ausgeglichenen

Treibhausgasbilanz bis 2050 gebracht werden. Das Strategiedokument präzisiert dazu, dass aus den bisherigen Angaben Orientierungswerte für die Jahre 2040 und 2050 abgeleitet werden können, welche als Grundlage für spätere verbindliche Zielsetzungen dienen könnten. Für 2050 wird festgehalten, dass die verbleibenden Emissionen durch CCS bzw. NET kompensiert werden müssen. Dabei wird für CCS ein potenzieller Beitrag von rund 5 Mio. Tonnen CO₂eq angenommen, was zusätzliche negative Emissionen im Umfang von etwa 6,8 Mio. Tonnen CO₂eq erforderlich machen würde. Diese Werte lassen sich wiederum als Ausgangspunkt für die Definition künftiger Zielsetzungen im Bereich von NET oder einer kombinierten Strategie aus NET und CCS interpretieren (=Aufbaupfad) (Bundesrat, 2021, S.55).

4.3 Ergänzung zur Langfristigen Klimastrategie (2025)

Am 9. Januar 2025 veröffentlichte die Schweiz eine Ergänzung zur langfristigen Klimastrategie, die gleichzeitig als Nationally Determined Contribution (NDC) für die Periode 2031–2035 dient. Darin werden das neue gesetzliche Umfeld sowie die institutionellen Rahmenbedingungen festgelegt: das Klima- und Innovationsgesetz (SR 814.310, 2025) und das CO₂-Gesetz (SR 641.71, 2024), die beide am 1. Januar 2025 in Kraft traten, bilden zusammen mit den entsprechenden Verordnungen die rechtlichen Grundlagen der Klimapolitik. Sie definieren die Ziele, Instrumente sowie Zuständigkeiten für Umsetzung und Vollzug (Bundesrat, 2025). Das Klima- und Innovationsgesetz (KIG) verankert das Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2050 gesetzlich. Dieses Ziel war bereits 2019 vom Bundesrat beschlossen und in der langfristigen Klimastrategie von 2021 formuliert worden, nun ist es aber mit dem KIG gesetzlich verankert (Bundesrat, 2025, S.7). Von zentraler Bedeutung sind insbesondere drei Bestimmungen: Erstens legt Artikel 3 das Ziel der Verminderung von Treibhausgasemissionen sowie den Einsatz von Negativemissionstechnologien fest, um die verbleibenden Treibhausgasemissionen im Inland und Ausland auszugleichen. Zweitens verpflichtet Artikel 5 alle Unternehmen, spätestens im Jahr 2050 Netto-Null-Emissionen nachzuweisen, wobei mindestens die direkten Emissionen (Scope 1) und die indirekten Emissionen aus Strom- und Wärmebezug (Scope 2) berücksichtigt werden müssen. Zur Umsetzung können Unternehmen Fahrpläne entwickeln, die auf die spezifischen Bedingungen der jeweiligen Betriebe zugeschnitten sind. Drittens sieht Artikel 6 eine Förderung innovativer Technologien und Prozesse vor. Hierfür stellt der Bund in den Jahren 2025 bis 2030 insgesamt 1,2 Mrd. CHF zur Verfügung. Förderberechtigt sind Unternehmen, die nachweisen, dass sie einen Fahrplan gemäß Artikel 5 Absatz 2 erarbeitet haben. Die Einzelheiten sind in der Klimaschutz-Verordnung (SR 814.310.1, 2025) geregelt, die insbesondere festlegt, welche Technologien und Prozesse

förderfähig sind. Die konkrete Umsetzung dieser Vorgaben erfolgt über das CO₂-Gesetz (Bundesrat, 2025).

Das revidierte CO₂-Gesetz (SR 641.71, 2024), geht auf eine längere politische Auseinandersetzung zurück. Eine vorgesehene Totalrevision, die unter anderem die Halbierung der Treibhausgasemissionen bis 2030 gegenüber 1990 gesetzlich festschreiben wollte, war im Juni 2021 in einer Volksabstimmung mit knapp 52 % abgelehnt worden. Um eine Regulierungslücke zu verhindern, wurde das bestehende CO₂-Gesetz bis Ende 2024 verlängert. Auf Grundlage eines neuen bundesrätlichen Vorschlags von 2022 konnte 2024 schließlich ein revidiertes Gesetz verabschiedet werden, das seit dem 1. Januar 2025 gilt. Bezüglich Carbon Management im CO₂-Gesetz wird in der Ergänzung zur langfristigen Klimastrategie nichts erwähnt.

Allerdings widmet sich ein zentrales Kapitel der Ergänzung ausdrücklich der CO₂-Entnahme und -Speicherung. Darin wird die Bedeutung von Carbon Capture and Storage (CCS) sowie Negativemissionstechnologien (NET) nochmals ausdrücklich hervorgehoben. Bezug genommen wird zudem auf ein Dokument des Bundesrates aus dem Jahr 2022 (Bundesrat, 2022), das bereits den zweiphasigen Ausbau dieser Technologien festlegte. Auch in der Ergänzung wird festgehalten, dass mit dem bestehenden rechtlichen Rahmen grundsätzlich ein geeignetes Umfeld für die Pionierphase bis 2030 vorliegt. Für die anschließende Skalierungsphase ab 2030 seien jedoch zusätzliche Weichenstellungen notwendig – insbesondere der Aufbau einer Infrastruktur für Transport und Speicherung von CO₂ (Bundesrat, 2025, S.11).

Vor diesem Hintergrund hat das Parlament den Bundesrat beauftragt, ein Rahmengesetz für Abscheidung, Transport und Speicherung von CO₂ vorzulegen (UREK, 2024). Dieses Gesetz soll die verfassungsmässigen Kompetenzen wahren und zugleich zentrale Elemente regeln: bauliche, technische und betriebliche Anforderungen an CO₂-Leitungen; Planungsgrundsätze für Rohrleitungsanlagen und CO₂-Speicher; Standards für die Lagerung im tiefen Untergrund sowie für Überwachung und Nachsorge; Finanzhilfen und Absicherungsinstrumente in Verbindung mit dem CO₂-Gesetz; sowie Maßnahmen zur Vereinfachung und Harmonisierung kantonaler Bewilligungsverfahren. Zudem soll die Berücksichtigung bestehender Bodennutzungen, insbesondere in der Landwirtschaft, Trinkwassergewinnung und Kiesgewinnung, sichergestellt werden (Bundesrat, 2025, S.11). Dies Motion wurde am 27.11.2024 angenommen.

Ein weiterer Schwerpunkt der Ergänzung betrifft die langfristigen Bedarfsabschätzungen. Aufbauend auf der Klimastrategie von 2021 wird der inländische Bedarf an CO₂-Speicherung im Jahr 2050 auf rund 12 Mt. geschätzt. Zusätzlich verweist der Bundesrat auf einen Bericht von Februar 2024, in dem die Notwendigkeit weiterer Negativemissionen für den Ausgleich von Emissionen aus der internationalen Luftfahrt mit jährlich 1–2 Mt. CO₂ bis 2050 beziffert wird (Bundesrat, 2025, S.11).

Für die Pionierphase bis 2030 verweist die Ergänzung auf mehrere Maßnahmen, die früher noch als geplant beschrieben wurden, inzwischen jedoch bereits umgesetzt oder beschlossen sind. Dazu zählen die seit 2022 mögliche Zertifizierung von Projekten zur CO₂-Speicherung nach dem CO₂-Gesetz, eine Branchenvereinbarung mit der Abfallwirtschaft, die bis 2030 den Betrieb einer Abscheidungsanlage mit einer jährlichen Kapazität von 100.000 Tonnen CO₂ vorsieht, sowie die Anrechenbarkeit von CCS im schweizerischen Emissionshandelssystem (EHS) ab 2025, analog zum EU-EHS. Auf internationaler Ebene hat die Schweiz zudem die rechtlichen Grundlagen für den Export von CO₂ zur Speicherung im Meeresboden im Rahmen des London-Protokolls geschaffen und erste bilaterale Vereinbarungen zur Kooperation bei CCS und NET mit Staaten wie Island, den Niederlanden, Schweden und Norwegen abgeschlossen (Bundesrat, 2025, S.11), somit wurden die Punkte, die im Bericht von 2022 noch geplant waren hiermit umgesetzt.

Für die Zeit nach 2030 sieht die Ergänzung die gezielte Skalierung von CCS-Prozessketten vor. Dabei sollen der koordinierte Aufbau der Infrastruktur sowie eine verursachergerechte Finanzierung von CCS und NET im Vordergrund stehen. Ein entsprechender Rechtsrahmen soll helfen, offene Fragen in Bezug auf Finanzierung, Zuständigkeiten und technische Standards zu klären (Bundesrat, 2025, S.14). Im Hinblick auf die langfristigen Klimaziele wird zudem festgehalten: „Es ist aber wahrscheinlich, dass die Schweiz bereits bis 2035 im Bereich der CO₂-Entnahme und -Speicherung zusätzliche Potenziale zur Verminderung mittels CCS und zur Erzeugung von Negativemissionen nutzen kann, die eine Netto-Verminderung um bis zu 65 Prozent gegenüber 1990 ermöglichen“ (Bundesrat, 2025, S.14). Hierzu müssten bis 2035 rund 1,2 Mt. CO₂ – fossilen, prozessbedingten oder biogenen Ursprungs – an Anlagen abgeschieden und im In- oder Ausland gespeichert werden, wobei insbesondere Kehrrechtverwertungsanlagen und Zementwerke als zentrale Anwendungsfelder benannt werden.

Im Vergleich zur langfristigen Klimastrategie von 2021 markiert die Ergänzung von 2025 einen wichtigen Schritt von der strategischen Programmatik hin zu einer rechtlich verbindlichen und institutionell abgesicherten Klimapolitik. Während 2021 viele Maßnahmen noch auf

konzeptioneller Ebene verortet waren, zeigt die Ergänzung, dass zentrale Elemente inzwischen konkretisiert und teilweise bereits umgesetzt wurden – etwa die Zertifizierung von CO₂-Speicherprojekten, die Verknüpfung von CCS mit dem Emissionshandelssystem oder bilaterale Vereinbarungen mit Partnerstaaten. Besonders relevant ist zudem die gesetzliche Verankerung des Netto-Null-Ziels durch das Klima- und Innovationsgesetz, womit ein zentrales Element der Klimapolitik nun dauerhaft abgesichert ist.

Gleichzeitig verdeutlicht die Ergänzung die anstehenden Herausforderungen: Für die Zeit nach 2030 wird ein gezielter Ausbau von Transport- und Speicherinfrastrukturen sowie ein klarer Rechtsrahmen für Finanzierung, Bewilligung und Zuständigkeiten notwendig sein. Damit wird deutlich, dass die Schweiz zwar erste Schritte in der Pionierphase erfolgreich eingeleitet hat, der Übergang zur Skalierung jedoch erhebliche institutionelle und technologische Weichenstellungen erfordert. Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Ergänzung weniger neue Ziele formuliert, sondern vor allem den Übergang von der Planungs- zur Umsetzungsphase dokumentiert und dadurch die Rolle von CCS und NET als integrale Bestandteile der Schweizer Klimastrategie nachhaltig bestätigt.

4.4 Klima- und Innovationsgesetz (2025)

Mit dem Inkrafttreten des Klima- und Innovationsgesetzes (KIG) (SR 814.310, 2025) am 1. Januar 2025 verankert die Schweiz ihr Netto-Null-Ziel erstmals verbindlich im nationalen Recht. Während das Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2050 bereits 2019 vom Bundesrat beschlossen und in der langfristigen Klimastrategie von 2021 programmatisch formuliert worden war, schafft das KIG eine neue Qualität: Es legt nicht nur Zielsetzungen fest, sondern definiert auch konkrete Instrumente und Zuständigkeiten und markiert damit einen entscheidenden Übergang von strategischen Planungsdokumenten zu einem verbindlichen Gesetzesrahmen.

Für das Carbon Management ist dies besonders relevant, da erstmals rechtlich festgelegt wird, dass zur Erreichung von Netto-Null sowohl Emissionsminderungen als auch der Einsatz von Negativemissionstechnologien und gegebenenfalls Carbon Capture and Storage (NET/CCS) erforderlich sind. Viele Artikel des KIG beziehen sich allgemein auf die Reduktion von Treibhausgasemissionen. Auch wenn NET/CCS nicht explizit genannt werden, lassen sich diese Maßnahmen implizit aus den definierten Zielen, der rechtlichen Verbindlichkeit des Netto-Null-Ziels und den Anforderungen an Emissionsreduktionen ableiten. Daher liegt der Fokus der vorliegenden Arbeit auf den Artikeln, die konkrete Vorgaben, Verantwortlichkeiten oder

Instrumente enthalten, durch die die Umsetzung von Netto-Null und der Einsatz von NET/CCS operationalisiert werden.

Vor diesem Hintergrund wird zunächst Art. 2 KIG (SR 814.310, 2025, S.1-2) betrachtet, der zentrale Begriffe für die Schweizer Klimapolitik definiert. *Direkte Emissionen* entstehen durch den Betrieb von Anlagen oder Prozessen, *indirekte Emissionen* bei der Bereitstellung eingekaufter Energie. Die bereits zuvor behandelten Begriffe Negativemissionstechnologien und Netto-Null-Emissionen werden im Gesetz ebenfalls aufgeführt.

Art. 3 KIG legt das Ziel der Verminderung der Treibhausgasemissionen und den Einsatz von Negativemissionstechnologien (NET) verbindlich fest. Der Bund trägt die Verantwortung dafür, dass die von Menschen verursachten Treibhausgasemissionen in der Schweiz bis 2050 Netto-Null erreichen. Wesentlich ist dabei insbesondere, dass die verbleibenden Emissionen durch den Einsatz von NET sowohl in der Schweiz als auch im Ausland ausgeglichen werden (Abs. 1b), wodurch die rechtliche Grundlage für die Integration von NET in die nationale Klimastrategie geschaffen wird. Nach 2050 soll die Menge an durch NET entfernten und gespeicherten CO₂-Emissionen die verbleibenden Emissionen übertreffen (Abs. 2), was die langfristige Relevanz von Kohlenstoffspeichern unterstreicht.

Absatz 5 betont die Verantwortung von Bund und Kantonen, Kohlenstoffspeicher in notwendigem Umfang bereitzustellen und gegebenenfalls Richtwerte für NET festzulegen, was eine konkrete Umsetzungsebene für Carbon Management definiert. Absatz 6 erweitert die Verantwortung auf Emissionen aus in der Schweiz getankten Treibstoffen für internationale Flüge und Schifffahrten, wodurch auch grenzüberschreitende Emissionen rechtlich berücksichtigt werden

Für das Carbon Management bedeutet dies, dass NET und die Einrichtung von Kohlenstoffspeichern nicht optional, sondern integraler Bestandteil der nationalen Roadmap sind, und dass die Schweiz erstmals verbindliche Zwischenziele (Abs. 3) für die Reduktion von Treibhausgasemissionen definiert, die technisch machbar und wirtschaftlich tragbar sein müssen (Abs. 4) (SR 814.310, 2025, S.2).

Art. 5 und 6 KIG adressieren die Rolle von Unternehmen und Branchen bei der Umsetzung des Netto-Null-Ziels. Gemäß Art. 5 Abs. 1 müssen alle Unternehmen spätestens bis 2050 Netto-Null-Emissionen erreichen, wobei sowohl direkte als auch indirekte Emissionen berücksichtigt werden. Zur Unterstützung der Umsetzung können Unternehmen und Branchen Fahrpläne

erarbeiten (Abs. 2), wobei der Bund fachkundige Beratung, Grundlagen und Standards bereitstellt, die international anerkannt sein können (Abs. 3).

Art. 6 ergänzt diesen Ansatz, indem der Bund Finanzhilfen bis 2030 für neuartige Technologien und Prozesse zusichert, die der Umsetzung der Fahrpläne dienen (Abs. 1). Dies schafft einen Anreiz für die Integration innovativer Carbon-Management-Technologien, einschließlich NET oder CCS, auf Unternehmens- und Branchenebene (SR 814.310, 2025, S.3).

Auf Ebene des Carbon Managements in der Schweiz zeigt sich, dass Verpflichtungen auf Unternehmens- und Branchenebene formal verankert sind und gleichzeitig die Anwendung innovativer Technologien unterstützt wird. Fahrpläne und Förderinstrumente sorgen dafür, dass die Reduktion und der Ausgleich von Emissionen systematisch geplant und umgesetzt werden können, wodurch NET/CCS konkret operationalisiert werden (SR 814.310, 2025, S.3). Die Förderung steht grundsätzlich allen Unternehmen offen. Voraussetzung ist, dass das Unternehmen einen Netto-Null-Fahrplan erarbeitet. Die Förderung zielt also vor allem auf sogenannte «early-movers», d.h. auf Unternehmen, die sich frühzeitig zur Klimaneutralität verpflichten (BAFU, 2023).

Im Vergleich zur langfristigen Klimastrategie bringt das Klima- und Innovationsgesetz (KIG) mehrere Neuerungen: Es schafft rechtliche Verbindlichkeit für das Netto-Null-Ziel, definiert Pflichten für Unternehmen und etabliert eine Förderlogik, die den Einsatz von innovativen Technologien unterstützt. Negativemissionstechnologien und Carbon Capture and Storage werden dabei zwar nicht in allen Artikeln explizit genannt, sind aber durch die Zieldefinitionen und die rechtliche Verbindlichkeit implizit vorausgesetzt. Stärken des KIG liegen somit insbesondere in der Rechtssicherheit und der klaren Strukturierung des Pfades bis 2050. Gleichzeitig bestehen noch offene Fragen, etwa hinsichtlich Transport, Speicherung und weiterer Detailregelungen, weshalb bereits die Ergänzung von 2025 und ein künftiges Rahmengesetz angekündigt wurden (Bundesrat, 2025, S.11).

4.5 Klimaschutz-Verordnung (2025)

Mit dem Inkrafttreten der Klimaschutz- und Innovationsverordnung (KIV) (SR 814.310.1, 2025) am 1. Januar 2025 wird das Klima- und Innovationsgesetz (KIG) auf Verordnungsebene konkretisiert. Während das KIG die übergeordneten Ziele, Zuständigkeiten und Förderlogiken definiert, regelt die KIV deren praktische Umsetzung und präzisiert, wie die gesetzlich verankerten Vorgaben administrativ und technisch umzusetzen sind. Für das Carbon Management ist dies besonders relevant, da hier erstmals detailliert festgelegt wird, welche

Technologien und Verfahren förderfähig sind, wie Unternehmensfahrpläne gestaltet werden müssen und in welchem Umfang Negativemissionstechnologien sowie Carbon Capture and Storage in die nationale Klimapolitik integriert werden.

Art. 1 regelt die zentralen Gegenstände der Verordnung. Dabei sind zwei Aspekte hervorzuheben: Erstens die Anforderungen an die Fahrpläne von Unternehmen und Branchen zur Erreichung des Netto-Null-Ziels (lit. a, vgl. KIG Art. 5), die implizit auch Maßnahmen wie CCS oder Negativemissionstechnologien einschließen können, sofern Restemissionen bestehen bleiben. Zweitens die Förderung von neuartigen Technologien und Prozessen, die der Umsetzung der Fahrpläne oder einzelner Maßnahmen dienen (lit. b, vgl. KIG Art. 6), wodurch ein direkter rechtlicher Rahmen für die Unterstützung innovativer Carbon-Management-Lösungen geschaffen wird. Die übrigen Regelungsbereiche – Absicherung von Infrastrukturinvestitionen (lit. c), Anpassung an den Klimawandel (lit. d) und freiwilliger Klimatest zur Überprüfung der klimaverträglichen Ausrichtung der Finanzmittelflüsse (lit. e) – sind für das Carbon Management nur bedingt relevant (SR 814.310.1, 2025, S.1).

Art. 2 der Klimaschutz-Verordnung legt die Berechnung der Treibhausgasemissionen fest. Demnach sind direkte, indirekte sowie vor- und nachgelagerte Emissionen separat zu erfassen (Abs. 1). Direkte Emissionen entsprechen Scope 1 und entstehen unmittelbar bei betrieblichen Prozessen, während indirekte Emissionen Scope 2 darstellen und durch die Bereitstellung eingekaufter Energie verursacht werden. Vor- und nachgelagerte Emissionen entsprechen Scope 3 und umfassen alle Treibhausgasemissionen, die während des gesamten Lebenszyklus eines Produkts oder einer Leistung durch Dritte entstehen (Abs. 2). Diese Systematik stellt sicher, dass sämtliche relevanten Emissionen entlang der Wertschöpfungskette berücksichtigt werden, was insbesondere für das Carbon Management wichtig ist, da sowohl NET als auch CCS auf unterschiedliche Emissionskategorien angewendet werden können. Die Verordnung betont, dass die Berechnung nach den aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen erfolgen muss (Abs. 3), wodurch methodische Konsistenz und Aktualität gewährleistet werden. Für die Umrechnung der Emissionen in CO₂-Äquivalente sind die Werte aus der CO₂-Verordnung heranzuziehen (Abs. 4), was eine standardisierte Vergleichbarkeit verschiedener Treibhausgase sicherstellt (SR 814.310.1, 2025, S.1-2).

Art. 3 und 4 der Klimaschutz-Verordnung legen die Anforderungen an Fahrpläne für Unternehmen und Branchen fest, um das Netto-Null-Ziel gemäß KIG (Art. 5) operationalisieren zu können. Sowohl Unternehmens- als auch Branchenfahrpläne müssen die Bilanzierung der direkten und indirekten Emissionen (Scope 1 und Scope 2) enthalten, bestehende Anlagen und

Prozesse beschreiben, Maßnahmen zur Emissionsminderung sowie die Anwendung von Negativemissionstechnologien (NET) analysieren und darstellen. Zusätzlich sind Absenkpfade für direkte und indirekte Emissionen vorzusehen, die technisch möglich linear verlaufen und Zwischenziele für 2030 und 2040 enthalten. Ebenso müssen Aufbaupfade für den Einsatz von NET definiert werden, um verbleibende Emissionen, die durch Minderungsmaßnahmen nicht vermieden werden können, bis spätestens 2050 im In- und Ausland auszugleichen. Diese Bestimmungen stellen sicher, dass die Reduktion und Kompensation von Emissionen systematisch geplant und entlang der Wertschöpfungskette umgesetzt werden, wodurch NET konkret operationalisiert werden (SR 814.310.1, 2025, S.2-3).

Art. 6 der Klimaschutz-Verordnung konkretisiert die Angaben, die in den Fahrplänen zu den Maßnahmen gemacht werden müssen. Dazu gehören unter anderem eine präzise Beschreibung der einzelnen Maßnahmen, eine Schätzung von Kosten und Nutzen sowie – für Unternehmensfahrpläne – die Berechnung der erzielten Wirkung in Tonnen CO₂-Äquivalenten und der Einfluss auf den Energieverbrauch. Bei Branchenfahrplänen hingegen wird erstmals nur eine Abschätzung der Wirkung der Maßnahmen verlangt, ohne detaillierte Berechnungen wie bei einzelnen Unternehmen. Zudem ist ein Zeitplan für die Umsetzung festzulegen. Zusammen mit Art. 3 und 4, die die Struktur und Inhalte der Unternehmens- und Branchenfahrpläne definieren, stellt Art. 6 sicher, dass die geplanten Maßnahmen transparent, nachvollziehbar und quantifizierbar dokumentiert werden. Dies ist für die Umsetzung wesentlich, da dadurch der Einsatz der entsprechenden Technologien entlang der Fahrpläne messbar und planbar wird (SR 814.310.1, 2025, S.3).

Art. 7 der Klimaschutz-Verordnung verweist auf die Anwendung von Bescheinigungen nach dem CO₂-Gesetz für NET-Maßnahmen und schreibt vor, dass Fahrpläne bei geänderten Verhältnissen oder mindestens alle fünf Jahre zu aktualisieren sind (SR 814.310.1, 2025, S.4).

Art. 8 stellt sicher, dass das Bundesamt für Energie (BFE) die notwendigen Informationen bereitstellt und fachkundige Berater registriert, um Unternehmen und Branchen bei der Erstellung ihrer Fahrpläne zu unterstützen (SR 814.310.1, 2025, S.4).

Art. 9 und 10 der Klimaschutz-Verordnung regeln die Aufteilung und Priorisierung der Finanzmittel, die zur Unterstützung der Umsetzung der Fahrpläne nach Art. 5–6 KIG bereitgestellt werden. Gemäß Art. 9 bestimmt das Bundesamt für Energie (BFE) im Einvernehmen mit dem Bundesamt für Umwelt (BAFU), wie die bewilligten Mittel auf die Förderung von Maßnahmen zur Verminderung von Treibhausgasemissionen sowie zur

Anwendung von Negativemissionstechnologien (NET) verteilt werden. Dabei werden sowohl der Mittelbedarf als auch die Vollzugskosten und der Beitrag der einzelnen Maßnahmen zur Erreichung der Ziele nach Art. 3 KIG berücksichtigt. Die Verordnung sieht zudem unterschiedliche Förderwege vor, unter anderem die Förderung auf Gesuch hin oder mittels Ausschreibung, um den spezifischen Bedingungen der einzelnen Maßnahmen gerecht zu werden.

Art. 10 legt die Kriterien fest, nach denen die verfügbaren Fördermittel priorisiert werden, falls die Summe der eingereichten oder zu erwartenden Gesuche die vorhandenen Mittel übersteigt. In einem solchen Fall erfolgt die Zuweisung der Finanzhilfen auf Basis mehrerer Faktoren: Dazu zählen der Umfang der angestrebten Reduktion von Treibhausgasemissionen oder der geplanten Negativemissionen in Tonnen CO₂-Äquivalent, die Entwicklungsphase der Maßnahme sowie deren Anwendungs- und Skalierungspotenzial. Weiterhin werden die Kosten pro Tonne CO₂-Äquivalent während der Wirkungsdauer der Maßnahme, die potenziellen positiven und negativen Auswirkungen auf Umwelt und Ressourcennutzung im In- und Ausland sowie das Risiko einer Verlagerung von Treibhausgasemissionen ins Ausland berücksichtigt. Durch diese systematische Priorisierung soll die Verordnung sicherstellen, dass die begrenzten Mittel effizient eingesetzt werden und vorrangig Projekte gefördert werden, die den größten Beitrag zur Erreichung der Netto-Null-Ziele leisten (SR 814.310.1, 2025, S.4-5).

Art. 11 der Klimaschutz-Verordnung legt fest, welche Maßnahmen für Finanzhilfen nach Art. 6 KIG förderfähig sind, und definiert die entsprechenden Entwicklungsphasen. Demnach werden nur Maßnahmen unterstützt, die in einem Fahrplan vorgesehen sind und sich in einer der drei Entwicklungsphasen befinden: a) Demonstrationszwecke, bei denen die Maßnahmen noch nicht im realen Maßstab umgesetzt wurden; b) Marktzulassung und Markteinführung, bei denen die Maßnahmen mindestens einmal umgesetzt wurden; sowie c) Marktdiffusion, bei der die Maßnahmen bereits mehrfach realisiert wurden, aber weiterhin nicht vollständig beherrschbare Umsetzungsrisiken bestehen.

Darüber hinaus müssen die Maßnahmen spezifische Anforderungen erfüllen: Dazu zählen die Verminderung direkter und indirekter Emissionen, die Berücksichtigung direkt vor- und nachgelagerter Emissionen sowie die Speicherung von CO₂ in Produkten oder im Untergrund (die konkreten Anforderungen sind in Anhang 2 der Verordnung festgelegt).

Den folgenden Betreibern wird eine Finanzhilfe nur dann ausgerichtet, wenn sie zusätzlich bestimmte Voraussetzungen erfüllen (siehe auch CO₂-Gesetz):

- Betreiber von Anlagen und Luftfahrzeugen, die am Emissionshandel teilnehmen, sofern sie nachweisen, dass die Kosten für die Umsetzung der Maßnahmen langfristig unverhältnismäßig hoch wären und die Maßnahmen ohne Finanzhilfe nicht umgesetzt würden;
- Betreiber von Anlagen mit einer Verminderungsverpflichtung, sofern sie glaubhaft darlegen, dass sie ihre Verpflichtungen auch ohne Berücksichtigung der Wirkung der geförderten Maßnahmen erfüllen könnten.

Maßnahmen, die keinen angemessenen Beitrag zur Erreichung der Ziele nach Art. 3 KIG leisten oder nicht mit der Energie- und Klimapolitik des Bundes vereinbar sind, werden von der Förderung ausgeschlossen. Die Verordnung erlaubt zudem im Rahmen von Ausschreibungen eine flexible Handhabung der Schwellenwerte, sodass auch Maßnahmen mit geringeren Mindestanforderungen berücksichtigt werden können. Insgesamt stellt Art. 11 sicher, dass Finanzhilfen gezielt auf innovative Technologien und Prozesse ausgerichtet werden, die zur Umsetzung der Netto-Null-Ziele beitragen.

Die Artikel 12–20 der Klimaschutz-Verordnung regeln die Ausrichtung, Beantragung und Berichterstattung von Finanzhilfen. Art. 12 beschreibt die Form der Finanzhilfen als Investitions- oder Betriebsbeiträge sowie die beiden Verfahren der Antragstellung: auf Gesuch hin oder mittels Ausschreibung. Art. 13 legt die Anforderungen an Gesuche fest, insbesondere die Angaben zu Art und Wirkung der Maßnahmen, der Entwicklungsphase, der angestrebten Emissionsminderungen inklusive vor- und nachgelagerter Emissionen, sowie den Beitrag der Maßnahme zur Umsetzung der Fahrpläne. Zusätzlich müssen Angaben zu möglichen Risiken der Verlagerung von Emissionen, zu Umweltauswirkungen, weiteren Förderungen und Eigenleistungen sowie Verantwortlichen für die Umsetzung enthalten sein. Branchenverbände können unter bestimmten Bedingungen Sammelgesuche einreichen.

Art. 14 regelt die Höhe der Finanzhilfen, wobei die Berechnung der anrechenbaren Kosten und mögliche Anpassungen aufgrund von Einsparungen oder Abweichungen erfolgen. Art. 15–17 befassen sich mit der Umsetzung der Maßnahmen, Meldepflichten und Umsetzungsberichten, wobei das BFE ergänzende Angaben verlangen kann. Art. 19 verlangt einen Evaluationsbericht zur Überprüfung der Wirksamkeit der geförderten Maßnahmen. Art. 20 stellt sicher, dass Informationen zu Branchenfahrplänen und geförderten Maßnahmen unter Wahrung von Geschäfts- und Fabrikationsgeheimnissen veröffentlicht werden, um Transparenz und Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten (SR 814.310.1, 2025, S.6-9).

Art. 31 regelt, dass das BAFU die Vollzugsbehörden, insbesondere das BFE, bei der Umsetzung der Verordnung berät. Dazu gehört unter anderem die Beurteilung der Auswirkungen von Maßnahmen auf Umweltbelastung und Ressourcenverbrauch. Damit liegt die organisatorische und fachliche Verantwortung für die Überwachung und Beratung der Maßnahmen beim Bund (SR 814.310.1, 2025, S.13).

Art. 1 des Anhangs 1 der Klimaschutz-Verordnung legt die Kategorisierung vor- und nachgelagerter Emissionen fest. Die Einordnung orientiert sich am Scope-3-Standard des Greenhouse Gas Protocol und unterscheidet zwischen vorgelagerten Emissionen (z. B. gekaufte Waren, Energieemissionen, Geschäftsreisen) und nachgelagerten Emissionen (z. B. Nutzung und Entsorgung der Produkte, nachgelagerter Transport). Als relevant gelten dabei diejenigen Kategorien, deren Emissionen einen signifikanten Anteil an der Gesamtbilanz ausmachen und deren Verminderung durch eigene Aktivitäten beeinflussbar ist (SR 814.310.1, 2025, S.15-16).

Anhang 2 der Klimaschutz-Verordnung definiert die Anforderungen an Maßnahmen zur Förderung von neuartigen Technologien und Prozessen. Demnach müssen Maßnahmen zur Verminderung direkter und indirekter Emissionen eine voraussichtliche jährliche CO₂-Minderung von mindestens 1000 t in der Phase Marktzulassung/Markteinführung beziehungsweise 5000 t in der Phase Marktdiffusion erzielen. Effizienzsteigerungen fossiler Prozesse sind bis 2040 vollständig mit erneuerbaren Energieträgern zu substituieren, und zusätzlicher Stromverbrauch ist aus nicht fossilen Quellen zu decken. Für vor- und nachgelagerte Prozesse gelten ähnliche Vorgaben, jedoch mit niedrigeren Schwellenwerten (100 t für Demonstrationszwecke, 500 t für spätere Entwicklungsphasen). Demonstrationsmaßnahmen müssen zudem in einem Maßstab getestet werden, der eine umfassende wissenschaftliche, technische und wirtschaftliche Bewertung ermöglicht. Maßnahmen zur CO₂-Speicherung in Produkten oder im Untergrund sind in der KIV klar geregelt. Das abgeschiedene CO₂ darf nur aus bestimmten Quellen stammen: prozessbedingte Emissionen (z. B. Zementklinker), Abfallanlagen, bestehende Hochtemperaturprozesse (≥ 800 °C), biogene Quellen oder direkt aus der Atmosphäre. Die Maßnahmen müssen jährlich mindestens 5000 t CO₂eq speichern, das Abscheideverfahren effizient sein und die Permanenz der Speicherung gewährleistet werden. Der zusätzliche Strombedarf ist vollständig aus erneuerbaren Energien zu decken. CO₂ aus fossilen und prozessbedingten Quellen, das abgeschieden wird, um temporär genutzt oder gespeichert zu werden, muss bis 2050 einer permanenten Speicherung zugeführt werden. Unternehmen müssen dies in einem Fahrplan darlegen; CO₂-Nutzer haben zudem die Umstellung auf biogene oder atmosphärische Quellen

bis 2050 vorzusehen. Bei temporärer Speicherung in Produkten ist das nutzende Unternehmen für Finanzhilfesuche verantwortlich, wobei auch der Fahrplan des Abscheiders einzureichen ist. Die Umsetzung der Schwellenwerte erfolgt ab dem Folgejahr, bei Branchenprogrammen spätestens fünf Jahre nach der ersten Maßnahme (SR 814.310.1, 2025, S.17-19)..

Die Klimaschutz- und Innovationsverordnung (KIV) operationalisiert die Vorgaben des Klima- und Innovationsgesetzes (KIG) auf Verordnungsebene und legt für das Carbon Management erstmals konkrete Anforderungen an Fahrpläne, Maßnahmen und die Integration von Negativemissionstechnologien sowie CCS fest. Dabei definiert die KIV auch detailliert die Förderlogik für innovative Technologien und Maßnahmen, einschließlich Entwicklungsphasen, Gesuchsanforderungen, Wirkungsschätzungen und Priorisierung der Mittel. Offen bleiben jedoch praktische Fragen, insbesondere der Aufbau von Transport- und Speicherinfrastruktur sowie die Umsetzung der Maßnahmen in der Praxis. Insgesamt schafft die KIV so einen rechtlich verbindlichen Rahmen, der die strategischen Ziele des KIG messbar und planbar macht, während die operationalen Herausforderungen für die Skalierung der Maßnahmen noch adressiert werden müssen.

4.5 Co2-Gesetz (2024)

Das CO₂-Gesetz (SR 641.71, 2024) stellt die rechtliche Grundbasis der Schweizer Klimapolitik dar und bildet den übergeordneten Rahmen für die Regulierung von Treibhausgasemissionen. Es definiert zentrale Begriffe und Instrumente, wie etwa die nationalen und internationalen Bescheinigungen, die für die Verrechnung von Emissionsminderungen und Senkenleistungen herangezogen werden. Trotz dieser umfassenden Funktion enthält das Gesetz keine expliziten Vorgaben zu Negativemissionstechnologien oder Carbon Capture and Storage. Damit ist seine Rolle für das Carbon Management vor allem rahmengebend, während die konkrete Operationalisierung der Technologien über nachfolgende Verordnungen erfolgt.

Für die Analyse des Carbon Managements sind insbesondere die Artikel relevant, die im KIV in Bezug auf das CO₂-Gesetz aufgegriffen werden. Hier stellt Art. 7 KIV eine weitere Anforderung an die Fahrpläne von Unternehmen und Branchen dar, indem er die Nutzung von Bescheinigungen adressiert. Konkret verweist Art. 7 auf Art. 2 Buchstaben d und f des CO₂-Gesetzes, in denen die Begriffe definiert werden:

d. nationale Bescheinigungen: handelbare Bescheinigungen über in der Schweiz nachweislich erzielte Verminderungen von Treibhausgasemissionen oder Erhöhungen der Senkenleistung;

f. internationale Bescheinigungen: Bescheinigungen über im Ausland nachweislich erzielte Verminderungen von Treibhausgasemissionen oder Erhöhungen der Senkenleistung nach dem Klimaübereinkommen von 2015 (SR 814.310.1, 2025, S.7).

Art. 7 KIV legt fest, dass diese Bescheinigungen nur dann als Maßnahme nach Art. 3 Absatz 1 Buchstabe d (Unternehmensfahrpläne) bzw. Art. 4 Absatz 2 Buchstabe d (Branchenfahrpläne) gelten, wenn sie für die Anwendung von NET ausgestellt wurden. Damit wird der operative Zusammenhang zwischen CO₂-Gesetz und KIV deutlich: Während das Gesetz den Rahmen und die Definitionen vorgibt, regelt die KIV die konkrete Umsetzung, indem sie Fahrpläne und die Einbindung von NET operationalisiert.

In der Praxis bedeutet dies, dass das CO₂-Gesetz für das Carbon Management indirekt relevant ist: Es liefert die rechtliche Grundlage für Bescheinigungen und die Nachweisbarkeit von Emissionsminderungen, während die konkrete Anwendung von NET und CCS über die Fahrpläne in Art. 3 und Art. 4 KIV erfolgt. Die Kombination aus Gesetz und Verordnung schafft so einen rechtlich abgesicherten Rahmen, innerhalb dessen innovative Technologien gefördert, Maßnahmen planbar gemacht und die Zielerreichung des Netto-Null-Ziels transparent dokumentiert werden können.

Ein weiterer Bezug zum CO₂-Gesetz findet sich in Art. 11 Abs. 3 KIV (SR 814.310.1, 2025, S.5), der die Vergabe von Finanzhilfen einschränkt. Demnach können Betreiber von Anlagen und Luftfahrzeugen, die am Emissionshandelssystem (EHS) teilnehmen, nur dann Fördermittel erhalten, wenn sie glaubhaft darlegen, dass die Kosten für die Umsetzung der geplanten Maßnahmen auch langfristig unverhältnismäßig hoch sind und diese Maßnahmen ohne Finanzhilfe nicht umgesetzt würden. Die KIV verweist hierfür auf die Bestimmungen des CO₂-Gesetzes (Art. 15–16a), die das EHS und dessen Teilnahmebedingungen regeln.

Das CO₂-Gesetz legt in Art. 15 die Möglichkeit der Teilnahme am EHS für Betreiber von Anlagen mit einer bestimmten Feuerungswärmeleistung fest und verpflichtet diese, jährlich Emissionsrechte im Umfang ihrer verursachten Emissionen abzugeben. Art. 16 und 16a enthalten ergänzende Bestimmungen, insbesondere zu Ausnahmen für bestimmte Emissionen oder Flüge. Diese Regelungen bilden den rechtlichen Rahmen, auf den die KIV aufsetzt (SR 641.71, 2024, S.8-9).

Ebenfalls in Art. 11 Abs. 3 KIV genannt sind Betreiber von Anlagen mit einer Verminderungsverpflichtung nach Art. 31 und 31a CO₂-Gesetz. Sie können Finanzhilfen nur

dann in Anspruch nehmen, wenn sie nachvollziehbar darlegen, dass ihre Verpflichtungen auch ohne die geförderten Maßnahmen erfüllt würden.

Art. 31 CO₂-Gesetz (SR 641.71, 2024, S.13-15) regelt die Möglichkeit, dass Anlagenbetreiber auf Gesuch hin von der CO₂-Abgabe befreit werden, sofern sie sich verpflichten, ihre Emissionen bis 2040 in einem bestimmten Umfang zu reduzieren. Konkretisiert wird dies durch die CO₂-Verordnung: Art. 67 sieht Verminderungsverpflichtungen mit einem Treibhausgas-effizienzziel für Betreiber größerer Anlagen (über 200 t CO₂eq/Jahr) vor, während Art. 68 Verminderungsverpflichtungen mit einem Maßnahmenziel für Betreiber kleinerer Anlagen (bis 1500 t CO₂eq/Jahr) definiert (SR 641.711, 2025, S. 52-53).

Damit zeigt sich, dass die KIV-Förderlogik eng an bestehende Verpflichtungen aus CO₂-Gesetz und -Verordnung geknüpft ist. Finanzhilfen dienen nicht dazu, Verminderungsverpflichtungen abzufedern, sondern gezielt Innovationen zu fördern, die über die ohnehin bestehenden Pflichten hinausgehen.

4.6 Analyse II

Die Analyse erfolgt wie in den vorangegangenen Kapiteln systematisch entlang der definierten Dimensionen.

Begriffe und Konzepte

In der Schweizer Klimapolitik sind Restemissionen in mehreren Dokumenten thematisiert und zunehmend rechtlich verankert. Bereits die Langfristige Klimastrategie von 2021 beschreibt Restemissionen als verbleibende Treibhausgasemissionen, die nicht durch direkte Minderungsmaßnahmen vermieden werden können, und betont die Bedeutung von Negativemissionstechnologien und Carbon Capture and Storage für deren Ausgleich (Bundesrat, 2021, S.4). Der Einsatz von CCS und NET war 2021 strikt auf technisch schwer vermeidbare Emissionen beschränkt, insbesondere in den Sektoren Zement, Kehrlicht, Luftfahrt und Landwirtschaft. CCS/NET dienten als komplementäre Instrumente, begrenzt in Potenzial und Kosten, und waren als „letzte Option“ vorgesehen; fossile Energieträger sollten weitgehend eliminiert werden, und NET sollte nicht als Ersatz für Minderungsmaßnahmen genutzt werden.

Mit der Ergänzung von 2025 verschiebt sich die Perspektive: Zwar bleiben CCS und NET weiterhin für schwer vermeidbare Emissionen zentral, ihre Rolle wird jedoch durch das Klima- und Innovationsgesetz (KIG, Art. 3) rechtlich verankert. Verbleibende Emissionen müssen demnach sowohl in der Schweiz als auch im Ausland durch NET ausgeglichen werden, um das

Netto-Null-Ziel zu erreichen. Damit werden CCS und NET nicht mehr nur als „Notfall-Instrumente“ für Restemissionen verstanden, sondern als strategische, systematisch geplante und geförderte Elemente der nationalen Klimastrategie. Gleichzeitig bleibt die Annahme bestehen, dass alle technisch vermeidbaren Emissionen tatsächlich reduziert werden müssen, sodass die Priorität der Emissionsminderung unverändert erhalten bleibt (Bundesrat, 2025, S.7 ff).

Im Rahmen von Fördermaßnahmen erfolgt eine weitere Konkretisierung in der Klimaschutz- und Innovationsverordnung (KIV). Unternehmens- und Branchenfahrpläne müssen unter anderem Absenkpfade für direkte und indirekte Emissionen sowie Aufbaupfade für NET enthalten, um die verbleibenden Restemissionen bis 2050 auszugleichen (KIV, Art. 3–4). Mit dem Erstellen dieses Fahrplans kann somit eine finanzielle Zusicherung bezüglich des Aufbaus von NET-Kapazitäten schon frühzeitig abgesichert werden (SR 814.310.1, 2025, S.2-3).

Die Gefahr von Mitigation Deterrence, also einer Abschwächung von Minderungsanstrengungen durch die Aussicht auf spätere Kompensation, wird im schweizerischen Rechtsrahmen nur indirekt adressiert. Zwar betont Art. 3 Abs. 4 KIG, dass Zwischenziele „technisch machbar und wirtschaftlich tragbar“ sein müssen, wodurch eine alleinige Abstützung auf künftige NET ausgeschlossen werden soll. Dennoch bleibt die Gefahr einer Verschiebung von ambitionierten Reduktionen in die Zukunft bestehen, da keine quantitativen Obergrenzen für den Anteil von NET festgelegt sind (SR 814.310.1, 2025, S.2-3). Darüber hinaus weist die veränderte Perspektive und Rolle von CCS und NET zwischen 2021 und 2025 darauf hin, dass dem Risiko der Mitigation Deterrence nicht mehr in gleicher Deutlichkeit Rechnung getragen wird wie zuvor. Die explizite Verknüpfung von NET mit der Erreichung der Netto-Null-Ziele in den gesetzlichen Grundlagen birgt die Gefahr, dass diese Zielsetzungen untergraben werden, falls die künftig verfügbaren NETs nicht in dem vom Bund antizipierten Umfang bereitstehen – was dem Kernverständnis von Mitigation Deterrence entspricht.

Das Risiko eines Carbon Lock-in wird ebenfalls nicht explizit genannt, ist aber implizit im Rechtsrahmen erkennbar. Einerseits setzt das KIG mit Art. 3 Abs. 5 (SR 814.310, 2025, S.2) die Verantwortung von Bund und Kantonen fest, Kohlenstoffspeicher in notwendigem Umfang bereitzustellen. Dies weist auf die Bedeutung langfristiger Infrastrukturentscheidungen hin, etwa beim Aufbau von Transport- und Speicherlösungen für CO₂. Andererseits schränkt die KIV die Förderung von Maßnahmen ein, die zu einer Effizienzsteigerung fossiler Prozesse führen, indem diese beispielsweise spätestens bis 2040 vollständig durch erneuerbare

Energieträger ersetzt werden müssen (KIV, Anhang 2). Gleichzeitig bleibt offen, wie der konkrete Aufbau von Speicherinfrastruktur ausgestaltet werden soll, sodass in der Praxis weiterhin ein Risiko der Verfestigung fossiler Strukturen besteht (SR 814.310.1, 2025, S.17-18).

Zusammenfassend zeigt sich, dass Restemissionen in der Schweizer Klimapolitik thematisiert und in die Strategie integriert werden. Während sich der Einsatz über die Jahre verändert hat, sind die Einschätzungen bezüglich der Höhe und sektoralen Verteilung konstant geblieben bzw. wurden immer auf den aktuellen Stand angepasst und zeigen keine Anomalien auf. Die Rolle von NET wird sowohl bis 2050 als auch darüber hinaus zentral verankert. Risiken wie Mitigation Deterrence und Carbon Lock-in werden zwar erkannt und teilweise implizit adressiert, bleiben jedoch indirekt und ohne klare quantitative Leitplanken reguliert, was auch zur Gefahr werden kann. Mit der Ergänzung von 2025 und der Verankerung im KIG wird deutlich, dass CCS und NET nun strategisch für alle verbleibenden Emissionen eingesetzt werden können, um das Netto-Null-Ziel zu erreichen, während die Priorität der Emissionsvermeidung weiterhin gilt.

Zugang

Wie im vorherigen Abschnitt erläutert, ist der Zugang zu Carbon-Management-Technologien wie Negativemissionstechnologien und Carbon Capture and Storage in der Schweiz formal allen Unternehmen und Branchen grundsätzlich offen. Die rechtliche Verpflichtung zur Emissionsreduktion wird durch Art. 5 Abs. 1 KIG festgelegt: Alle Unternehmen müssen spätestens bis 2050 Netto-Null-Emissionen erreichen, wobei sowohl direkte (Scope 1) als auch indirekte Emissionen (Scope 2) berücksichtigt werden. Die Erstellung von Fahrplänen (Art. 5 Abs. 2 KIG) ist freiwillig und dient Unternehmen dazu, ihre Pfade zur Emissionsreduktion systematisch zu planen. Fahrpläne definieren konkrete Maßnahmen, Zwischenziele und den Einsatz von NET oder CCS. Sie sind nicht verpflichtend, sondern werden insbesondere dann genutzt, wenn Unternehmen Unterstützung oder Zugang zu Fördermitteln nach Art. 6 KIG erhalten wollen (SR 814.310, 2025, S.3). Die Förderungen sind zeitlich auf 2025–2030 begrenzt und dienen dazu, innovative Carbon-Management-Technologien und deren Umsetzung in Unternehmen und Branchen zu unterstützen. Die Verknüpfung von Fahrplänen mit Fördermitteln bedeutet, dass Unternehmen, die keine Förderung beanspruchen, dennoch verpflichtet sind, ihre Emissionen bis 2050 auf Netto-Null zu reduzieren, aber nicht zwingend einen formalen Fahrplan erstellen müssen. Unternehmen, die NET oder CCS einsetzen möchten, können dies sowohl im Rahmen von Förderprogrammen als auch eigeninitiativ tun. Die

langfristige Klimastrategie 2021 sowie ihre Ergänzung 2025 betonen, dass CCS in Industrieanlagen wie unter anderem in Kehrrichtverwertungsanlagen und Zementwerken relevant sein wird. Öl- und Gassektoren werden nicht explizit erwähnt (Bundesrat, 2021, S.50, 2025, S.10-14). Das CO₂-Gesetz selbst liefert die rechtlichen Grundlagen für die Nutzung von Bescheinigungen und für die Teilnahme am Emissionshandel, gibt aber ebenfalls keine sektorspezifischen Vorgaben für den Zugang zu NET/CCS (SR 641.71, 2024, S.15). Zusammenfassend zeigt sich, dass der Zugang zu Carbon-Management-Technologien in der Schweiz formal allen Unternehmen offensteht. Eine besondere Rolle der Öl- und Gasindustrie wird in den analysierten Dokumenten nicht adressiert. Die Nutzung von NET und CCS steht allen Unternehmen grundsätzlich offen, die ihre Emissionen gesetzlich auf Netto-Null reduzieren müssen; Fahrpläne und Förderungen dienen lediglich als freiwillige Instrumente zur Unterstützung der Planung, Umsetzung und Finanzierung, sind jedoch nicht Voraussetzung für den Zugang zu den Technologien.

Förderung

Die Förderung von Carbon-Management-Technologien in der Schweiz ist eng mit dem Klima- und Innovationsgesetz sowie der Klimaschutz- und Innovationsverordnung verknüpft. Das KIG bildet die grundlegende rechtliche Basis: Art. 1 und Art. 3 definieren die allgemeinen Ziele und Prinzipien; die Verpflichtung zur Emissionsreduktion und die Nutzung NET. Art. 5 und Art. 6 konkretisieren die Pflichten und Anreize für Unternehmen: Unternehmen müssen ihre Emissionen bis 2050 auf Netto-Null reduzieren (Art. 5 Abs. 1), können freiwillig Fahrpläne erstellen, um ihre Pfade zur Emissionsminderung zu planen (Art. 5 Abs. 2), und erhalten über Art. 6 Zugang zu Fördermitteln für innovative Technologien und Prozesse, sofern sie entsprechende Fahrpläne einreichen (SR 814.310, 2025).

Die KIV regelt die Details der Förderung und die Anforderungen an die Fahrpläne. Förderberechtigt sind Maßnahmen in den Entwicklungsphasen Demonstration, Marktzulassung/Markteinführung oder Marktdiffusion (Art. 11 Abs. 1 KIV). Gefördert werden insbesondere Maßnahmen zur Verminderung direkter und indirekter Emissionen, zur Reduktion vor- und nachgelagerter Emissionen sowie zur Speicherung von CO₂ in Produkten oder im Untergrund (Anhang 2 KIV). Unternehmen, die Fördermittel beantragen wollen, müssen im Rahmen ihres Fahrplans die vorgesehenen Maßnahmen beschreiben, einschließlich der Entwicklungsschritte, erwarteten Minderungen und Einhaltung der Schwellenwerte (Art. 13, KIV). Die Förderung erfolgt als Investitions- oder Betriebsbeitrag, höchstens 50 % der

anrechenbaren Kosten, und wird nach erfolgreicher Umsetzung und Vorlage von Umsetzungsberichten ausgezahlt (Art. 12, 15–18 KIV).

Für die Jahre 2025 bis 2030 sind insgesamt 1,2 Mrd. CHF an Fördermitteln vorgesehen (jährlich auf 200 Mio. Fr. beschränkt) (Bundesrat, 2025, S.8). Die spezifischen Anforderungen an förderfähige Maßnahmen, etwa Mindestminderungen, die Nutzung erneuerbarer Energien oder die Bedingungen für CO₂-Speicherung, sind im Anhang 2 KIV geregelt. Diese wurden im Kapitel zur KIV detailliert erläutert (SR 814.310.1, 2025).

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Förderung in der Schweiz eng mit der Erstellung von Fahrplänen verknüpft ist. Das KIG liefert den rechtlichen Rahmen, während die KIV die konkreten Förderbedingungen, Schwellenwerte und Berichtspflichten definiert. Unternehmen, die NET oder CCS einsetzen wollen, müssen diese Rahmenbedingungen einhalten, um finanzielle Unterstützung zu erhalten. Infrastrukturmaßnahmen, Pilotprojekte oder erste Umsetzungen werden dabei indirekt durch die Förderprogramme unterstützt, konkrete Pilotprojekte werden in den analysierten Dokumenten nicht explizit genannt.

Umsetzung

Die konkrete Umsetzung von Carbon-Management-Technologien in der Schweiz erfolgt aktuell vor allem über die Unternehmens- und Branchenfahrpläne nach KIG/KIV. Diese Fahrpläne definieren Maßnahmen zur Emissionsreduktion und den Einsatz von NET/CCS, inklusiven Zwischenzielen und Aufbaupfaden für die Technologie bis 2050 (KIV, Art. 3–4). Bislang gibt es keine flächendeckend implementierte CO₂-Infrastruktur, weder für Transport noch für dauerhafte Speicherung. Die KIG (Art. 3 Abs. 5) verpflichtet Bund und Kantone, Kohlenstoffspeicher „in notwendigem Umfang bereitzustellen“, konkrete Projekte, Speicherorte oder Transportnetze werden jedoch nicht genannt.

Pilotprojekte werden indirekt durch Förderprogramme unterstützt: Unternehmen können Finanzhilfen für Demonstrations- und Markteinführungsmaßnahmen beantragen, wodurch erste NET/CCS-Anwendungen technisch und wirtschaftlich getestet werden (KIV, Art. 11–12, Anhang 2). Konkrete Standorte oder Pilotanlagen sind in den analysierten Dokumenten nicht explizit ausgewiesen, die Finanzierung soll jedoch Innovationen vorantreiben.

Transport- und Speicherinfrastruktur bleibt weitgehend offen. Das KIG/KIV legt den rechtlichen Rahmen für die Nutzung von Kohlenstoffspeichern fest und definiert Mindestanforderungen an Permanenz und Quellen von CO₂ (KIV, Anhang 2), konkrete Transportwege oder unterirdische Speicher sind jedoch bisher nicht implementiert und werden

als offene Aufgabe für die Zukunft angesehen. Dies lässt darauf schließen, dass die Schweiz aktuell auf dezentrale oder projektbasierte Lösungen setzt und die Skalierung sowie der Aufbau nationaler Infrastruktur noch aussteht.

Internationale Bezüge sind im KIG/KIV bereits rechtlich verankert: Restemissionen können sowohl im Inland als auch im Ausland ausgeglichen werden (KIG, Art. 3 Abs. 1b; KIV, Art. 3–4), wodurch die Schweiz die Möglichkeit hat, NET-Projekte global zu nutzen, solange diese als Bescheinigungen nach CO₂-Gesetz anerkannt werden. Die operative Umsetzung internationaler Maßnahmen hängt jedoch von externen Partnern, Zertifizierungssystemen und der Verfügbarkeit geeigneter Speicher ab.

Fazit Umsetzung/Infrastruktur: Die Fahrpläne sind derzeit das zentrale Instrument, um die Umsetzung von Carbon-Management-Technologien zu planen und zu steuern. Pilotprojekte werden gefördert, aber Transport- und Speicherinfrastruktur existiert aktuell nur als Planungsauftrag, nicht als realisierte Struktur. Internationale NET-Nutzung ist rechtlich möglich, die praktische Umsetzung hängt jedoch von externen Rahmenbedingungen ab.

4.7 Zwischenfazit

Die Analyse der Schweizer Dokumente im Bereich Carbon Management zeigt, dass der Bundesratsbericht 2022 als erste Orientierung diene, insbesondere für den Umgang mit CCS und NET sowie den Restemissionen. CCS und NET werden dort vor allem als Instrumente für schwer vermeidbare Emissionen in spezifischen Sektoren wie Zement, Abfall oder Landwirtschaft vorgesehen. Der Bericht enthält bereits die Grundprinzipien der Schweizer Klimapolitik: Emissionsminderung hat Vorrang, der Aufbau und die Entwicklung von CCS/NET sollen frühzeitig begonnen werden, und der Ausbau wird in einer Zwei-Phasen-Struktur mit einer Pionierphase bis 2030 und einer anschließenden Skalierungsphase bis 2050 gedacht.

Die Ergänzung von 2025 liefert einen Zwischenstand, was in den Jahren seit Veröffentlichung geschehen ist: Neben bereits erwähnten Schritten wie der Zertifizierung von Projekten nach dem CO₂-Gesetz, der Verpflichtung der Abfallbranche zur Inbetriebnahme einer Abscheidungsanlage sowie der Anrechnung von CCS im Emissionshandelssystem ab 2025 wurden auch gesetzliche Grundlagen wie das Klima- und Innovationsgesetz (KIG) und die Klimaschutz- und Innovationsverordnung (KIV) geschaffen. Diese sehen explizit den Einsatz von CCS/NET zur Erreichung des Netto-Null-Ziels vor und verschieben deren Rolle von einer rein sektoralen Lösung hin zu einem breiten strategisch verankerten Instrument. In diesem

Zusammenhang wurde die Luftfahrt als zusätzlicher Bereich aufgenommen, in dem CCS/NET eine wichtige Rolle bei schwer vermeidbaren Emissionen spielen sollen.

Die vertiefte Analyse verdeutlicht, dass CCS und NET nicht nur programmatisch, sondern auch gesetzlich klar verankert sind. So schreibt das KIG in Art. 3 das Netto-Null-Ziel bis 2050 fest und sieht ausdrücklich den Ausgleich der verbleibenden Treibhausgasemissionen durch NET vor. Ergänzend verpflichtet Art. 5 alle Unternehmen, bis 2050 selbst Netto-Null zu erreichen. Damit ist der Einsatz von CCS/NET sowohl auf nationaler Ebene als auch auf Unternehmensebene gesetzlich abgesichert. Darüber hinaus sieht Art. 5 KIG die Möglichkeit vor, dass Unternehmen und Branchen Fahrpläne zur Erreichung von Netto-Null erstellen. Werden darin neuartige Technologien wie CCS oder NET berücksichtigt, können diese im Zeitraum 2025–2030 mit insgesamt 1,2 Mrd. CHF gefördert werden, sofern die Fahrpläne die gesetzlich festgelegten Kriterien und Richtwerte erfüllen. Damit wird der Einsatz von CCS/NET stärker institutionalisiert und systematisch an die Umsetzung der nationalen Klimaziele gebunden. Der Einsatz von CCS/NET hat sich somit von einer primär auf schwer vermeidbare Emissionen beschränkten Option zu einem Instrument entwickelt, das allen Unternehmen grundsätzlich offensteht, auch wenn in der Klimastrategie der Grundsatz weiterhin gilt, dass technisch vermeidbare Emissionen zuerst reduziert werden müssen.

Bezüglich dem Zugang zu Technologien zeigt sich demnach, dass CCS und NET formal allen Unternehmen offenstehen. Die Rolle spezifischer Sektoren wie Zement oder Abfall ist klar definiert, während für die Öl- und Gasindustrie keine Aussagen getroffen werden – was auch daran liegt, dass es in der Schweiz keinen eigenen Öl- und Gassektor gibt und die Energieversorgung in diesem Bereich stark von Importen abhängt. Förderprogramme und Fahrpläne strukturieren den Zugang und schaffen Anreize für den Einsatz der Technologien. Der Aufbau von Kohlenstoffspeichern bis 2050 ist per KIG rechtlich verankert, jedoch bestehen bislang keine konkreten Pläne für Transportnetze oder Pipelines. Parallel dazu verlangt eine Motion vom Bundesrat, ein spezifisches Gesetz zu NET, CCS und Infrastruktur zu erarbeiten.

Insgesamt ermöglicht die Kombination von Bundesratsbericht, Langfristiger Klimastrategie, Ergänzung 2025 sowie KIG/KIV eine differenzierte Einordnung der Schweizer Carbon-Management-Politik: Der Bericht von 2022 liefert den strategischen Rahmen und die erste Orientierung, während die nachfolgenden Dokumente und Gesetzeswerke die operative und institutionelle Umsetzung präzisieren. Risiken werden weiterhin vor allem implizit berücksichtigt, CCS/NET sind strategisch verankert, Förderungen setzen Anreize, der Aufbau

nationaler Infrastruktur steht noch am Anfang, und internationale Maßnahmen werden rechtlich vorbereitet.

5. Fazit

Die Analyse zeigt, dass die drei Länder der DACH-Region Carbon-Management-Technologien ähnlich bewerten, jedoch unterschiedliche Strategien bei deren Integration in die Klimapolitik verfolgen. Diese Unterschiede betreffen nicht nur die zeitliche Umsetzung, sondern auch weitere Aspekte, die in dieser Arbeit systematisch anhand der forschungsleitenden Frage – wie positionieren sich Deutschland, Österreich und die Schweiz im Bereich Carbon Management und welche zentralen Gemeinsamkeiten und Unterschiede lassen sich in ihren Strategien identifizieren – untersucht wurden. Die Analyse erfolgte entlang von vier Dimensionen: Begriffe und Risiken, Zugang, Förderung und Umsetzung.

Alle drei Länder priorisieren die Emissionsvermeidung gegenüber dem Einsatz technischer Senken und erkennen CCS sowie NET als notwendig für schwer vermeidbare Emissionen an. Gemeinsam ist außerdem der Fokus auf energieintensive „hard-to-abate“-Sektoren wie Zement, Kalk, Grundstoffchemie oder Abfallwirtschaft und Restemissionen aus der Landwirtschaft, wobei die länderspezifische Einordnung der Sektoren Unterschiede aufweist.

Trotz dieser Gemeinsamkeiten zeigen sich deutliche Unterschiede in der politischen Steuerung, dem Zugang, der Förderung und der Umsetzung. Die Schweiz integriert CCS und NET frühzeitig strategisch in ihre Klimapolitik. Die später hinzugekommenen rechtlichen Rahmenbedingungen (KIG/KIV) ermöglichen eine systematische Nutzung, konkrete Infrastrukturmaßnahmen oder detaillierte Umsetzungspläne liegen jedoch bislang noch nicht vor; aktuell befinden sich jedoch Planungen für eine gesetzliche Umsetzung in Vorbereitung. Deutschland verfolgt einen eher pragmatischen, industriepolitisch geprägten Ansatz: CCS/NET werden sektoral differenziert zugänglich gemacht, Offshore-Speicherung und Pipeline-Infrastruktur spielen eine zentrale Rolle, während fossile Kohlekraftwerke ausgeschlossen bleiben. Die Klimaneutralität bis 2045 steht dabei klar im Mittelpunkt. Die deutsche Strategie fokussiert auf CCS/CCU; CDR-Anwendungen werden auf separat veröffentlichte Strategien verwiesen. Österreich wählt einen vorsichtigen, wissenschaftlich fundierten Öffnungsansatz: Geologische Speicherung ist zunächst gesetzlich verboten, soll aber schrittweise im Einklang mit EU-Vorgaben ermöglicht werden. Dieses Verbot ist zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht aufgehoben. Förderungen und institutionelle Unterstützung sind auf Transparenz, Bewertung und langfristige Planung ausgerichtet.

Es zeigt sich, dass Österreich bislang das Risiko von Carbon Lock-in als einziges Land wirklich thematisiert hat. Gleichzeitig wird deutlich, dass die Strategie, trotz ihrer Detailtiefe, nur begrenzt pragmatische Umsetzungsschritte enthält. Im Vergleich hat die Schweiz bereits früh praktische Erfahrungen gesammelt, etwa mit Pilotprojekten ab 2021, und plant schon Maßnahmen für eine Skalierung ab 2030. Deutschland und die Schweiz befassen sich somit nicht explizit mit Lock-in oder Mitigation Deterrence, auch wenn die Prinzipien wie „Mitigation-first“ in beiden Ländern regelmäßig betont werden, implizit könne sich sogar Hinweise auf entsprechende Mechanismen erkennen lassen. In der österreichischen Strategie finden sich dagegen kaum konkrete Hinweise auf Umsetzungsrisiken.

Ein deutlicher Unterschied, der sich nicht aus den zuvor definierten Dimensionen ableiten lässt, besteht darin, dass die Schweiz zeitlich bereits früher mit der Umsetzung begonnen hat. Ob Österreich und Deutschland bei einem gleichzeitigen Beginn wie die Schweiz ähnliche Fortschritte hätten erzielen können, bleibt offen. Anhand der verfügbaren Informationen lässt sich jedoch spekulieren: In Deutschland liegt das Eckpunktepapier nach wie vor unverändert vor, eine umfassende Strategie wurde auch nach über einem Jahr nicht veröffentlicht. In Österreich besteht trotz mehrfacher Betonung in der CMS weiterhin ein gesetzliches Verbot für CCS (auch hier schon seit über einem Jahr). Diese Beobachtungen deuten darauf hin, dass die Fortschritte in Österreich und Deutschland im Vergleich zur Schweiz relativ gering und eher träge sind. Genau Gründe dafür könnten in einer nächsten Arbeit untersucht werden.

Innerhalb der Schweiz lässt sich aber zwischen 2021 und 2025 eine deutliche Veränderung feststellen: CCS und NET verschieben sich von komplementären Instrumenten, die nur auf schwer bzw. nicht vermeidbare Emissionen aus gewissen Sektoren sowie die Anwendung von NET bei Restemissionen wie aus der Landwirtschaft hin zu strategisch verankerten Elementen der Klimapolitik. Die gesetzlichen Vorgaben (KIG, KIV) sichern nun eine systematische Nutzung von NET sowohl national als auch international, wobei die Priorität der direkten Emissionsminderung weiterhin betont wird. Risiken wie Mitigation Deterrence und Carbon Lock-in werden jedoch weiterhin nur indirekt adressiert und bleiben ohne quantitative Leitplanken, was potenziell die Zielerreichung gefährden könnte.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die DACH-Region Carbon Management zunehmend als integralen Bestandteil ihrer Klimapolitik betrachtet, jedoch unterschiedliche Governance- und Umsetzungsansätze verfolgt. Die Schweiz zeigt hierbei die früheste und rechtlich am stärksten verankerte Integration, Deutschland setzt auf industriepolitische Steuerung und klare sektorale Differenzierung, während Österreich einen vorsichtigen,

wissenschaftlich fundierten Öffnungsansatz wählt. Im zeitlichen Vergleich innerhalb der Schweiz wird sichtbar, dass die Rolle von CCS/NET stärker institutionalisiert und strategisch geplant wurde, ohne dass die zentralen Risiken vollständig adressiert werden. Insgesamt verdeutlicht die Analyse, dass die Länder zwar ähnliche technische Konzepte verfolgen, sich jedoch in ihrem institutionellen Umgang, der Förderpolitik und der Umsetzung deutlich unterscheiden, was die Notwendigkeit eines differenzierten Vergleichs und einer genauen Beobachtung der Risikofaktoren unterstreicht.

6. Diskussion

Wie auch in der Arbeit von Boettcher et al. (2023) deutlich wird, sind empirische Beobachtungen darüber, wie und wo potenzielle politische Risiken bei der Umsetzung von CDR-Technologien in der Klimapolitik tatsächlich auftreten, nur schwer erkennbar. Dieses Muster zeigt sich ebenfalls in der vorliegenden Analyse: Obwohl Risiken wie Mitigation Deterrence oder Carbon Lock-in in der Literatur als zentrale Problemlagen diskutiert werden und auch in dieser Arbeit ein Kernelement der Betrachtung darstellen, lassen sie sich in den untersuchten offiziellen Klimapolitik-Dokumenten nur begrenzt identifizieren.

Die Analyse solcher Dokumente bietet zwar einerseits wertvolle Einblicke in die strategische und regulatorische Einordnung von CCS und NET. Andererseits sind diese Quellen in ihrer normativen Ausrichtung jedoch nicht primär darauf angelegt, politische Spannungen, Zielkonflikte oder potenzielle Fehlanreize sichtbar zu machen. Dadurch werden Risiken meist nur indirekt adressiert, bspw. über die Betonung des „Mitigation-first“-Prinzips oder bleiben vollständig unthematisiert (Boettcher et al., 2023).

Brad, Schneider et al. (2024) fordern in der Conclusio ihrer Arbeit unter anderem, dass die österreichische Carbon-Management-Strategie eine klare, transparente und robuste Definition von hard-to-abate-Sektoren sowie eine eindeutige Abgrenzung der Restemissionen im Netto-Null-Jahr enthalten sollte. Während erstere Anforderung umgesetzt wurde, zeigt diese Analyse, dass insbesondere im Hinblick auf Restemissionen weiterhin terminologische Unschärfen bestehen. Dieses Muster lässt sich auch in den neueren Dokumenten der Schweiz beobachten und wurde auch mehrmals erwähnt. Deutschland verwendet den Begriff Restemissionen hingegen überhaupt nicht, sondern beschränkt seine Carbon-Management-Strategie vollständig auf CCS/CCU. Weiter wird die Forderung nach separaten Zielen für Emissionsminderung und CO₂-Entnahme in der Schweiz aufgegriffen, in Österreich und Deutschland jedoch nicht. Es lässt sich zusätzlich erkennen, dass sich in den Strategien Österreichs und Deutschlands

politische Signale erkennen lassen, die mit den von den Autoren skizzierten Optionen vergleichbar sind. Sie betonen, dass eine mögliche politische Maßnahme darin bestünde, ein klares Signal zu setzen, indem fossilen Energieproduzenten der Zugang zu CO₂-Transport- und -Speicherinfrastruktur verwehrt wird. Somit würden politische Anreize vermieden, die den Ausstieg aus fossilen Energien untergraben könnten (aus dem Englischen). Ein entsprechendes Signal findet sich in den schweizerischen Dokumenten hingegen nicht (Brad, Schneider, et al., 2024).

Rothkirch et al. untersuchen primär die Akteurlandschaft in der Schweiz, wobei sich ähnliche Herausforderungen wie in den Strategien von Deutschland, Österreich und der Schweiz erkennen lassen: Begriffe wie Restemissionen oder hard-to-abate-Emissionen sind uneinheitlich definiert, und die Reaktionen auf das Thema Mitigation Deterrence variieren erheblich. In der Schweiz wird diese Problematik daher laut Rothkirch et al. vorsichtig behandelt. Die Studie zeigt zudem, dass CDR über verschiedene Narrative legitimiert wird und dass Stakeholder die Gestaltung der CDR-Landschaft aktiv beeinflussen. Dies könnte erklären, warum in den Schweizer Dokumenten vergleichsweise die CDR-Anwendung eine relative starke Gewichtung erhält, die in der vorliegenden Arbeit als potenziell mit Mitigation Deterrence verbunden identifiziert wurden.

Darüber hinaus betont Rothkirch et al., dass die Idee „wir brauchen alle Methoden“ den Konkurrenzdruck zwischen Akteuren verringert und die Mobilisierung von Ressourcen für die gesamte CDR-Community erleichtert, selbst wenn Uneinigkeit über die konkreten Methoden besteht. Indem suggeriert wird, dass für jede Lösung Platz sei, werden laut Rothkirch et al. politische Konflikte in den Hintergrund gedrängt. Während dieser Ansatz in der Schweizer Politik häufig als Vorteil eines Portfolioansatzes dargestellt wird, interpretiert Rothkirch et al. ihn kritisch und hebt die Risiken hervor, die sich aus mangelnder Diskussion und fehlender Koordination ergeben (Von Rothkirch et al., 2024). Dies Anhaltspunkte zeigen, dass sich die Analyse der Strategien in zentrale Diskussionslinien der Literatur einordnen lässt.

Imaginaires

Obwohl Lefstad et al. (2024) die Imaginaires von CCS in Skandinavien untersuchten und sich die vorliegende Arbeit auf politische Dokumente zum Carbon Management in der DACH-Region konzentriert, lassen sich auf explorative Weise gewisse Parallelen erkennen. Elemente, die von Lefstad et al. (2024) identifiziert wurden – wie die „Scientific Authority“, die die Notwendigkeit großangelegter CCS-Anwendungen legitimiert (hier übertragen auf Carbon

Management-Technologien) – sowie der in der Schweiz ausgeprägte Fokus auf den führenden Forschungsstandort, vergleichbar mit dem skandinavischen „Exceptionalism“, der bestehende Infrastruktur und regionales Know-how mobilisiert und mit einer Erzählung nationaler Umweltführerschaft verknüpft, können als potenzielle Ansatzpunkte für die Bildung von Imaginaries betrachtet werden. Diese Beobachtungen deuten darauf hin, dass politische Dokumente nicht nur konkrete Maßnahmen abbilden, sondern auch implizit Zukunftsvorstellungen entwerfen, die bestimmte Interessen stützen. Die explorative Anwendung des Imaginaries-Konzepts erlaubt es, mögliche Zukunftsbilder zu identifizieren, ihre Funktion für politische Entscheidungen zu analysieren und deren Einbindung in bestehende Strukturen und Strategien zu diskutieren. Gleichzeitig unterstreicht dies das Potenzial für weiterführende sozialwissenschaftliche Untersuchungen, die gezielt die Entstehung und Wirkung von Imaginaries im Kontext von CCS/CDR-Technologien in der Schweiz und darüber hinaus erforschen könnten.

7. Conclusio

Die Arbeit hatte zum Ziel, die Ansätze der drei Länder systematisch anhand der definierten Kategorien und Dimensionen zu vergleichen. Dabei konnten sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede identifiziert werden. Besonders interessant ist der Perspektivenwechsel in der Schweiz, bei dem sich der Einsatz von CCS/NET auf schwer vermeidbaren oder Restemissionen hin zu einem Einsatz für allgemein verbleibende Emissionen in Verbindung mit dem Erreichen des Netto-Null-Zieles verschiebt. Ob dies eine bewusste Strategie oder lediglich eine Folge unklar definierter Vorgaben ist, lässt sich anhand der untersuchten Dokumente nicht abschließend klären. Gleichzeitig zeigen sich Anknüpfungspunkte zu bestehender Forschung, wodurch die Ergebnisse auch im Hinblick auf den theoretischen Rahmen einordnungsfähig und nachvollziehbar bleiben.

Die Schweiz nimmt innerhalb der DACH-Region eine spezifische Position ein, da sie in mehreren Bereichen, insbesondere in regulatorischer Hinsicht und bei der Umsetzung, bereits fortgeschritten ist. So bestehen bereits gesetzliche Vorgaben zu NET, und die Anwendung von Carbon-Management-Technologien ist deutlich in der langfristigen Klimastrategie verankert. Vor diesem Hintergrund zeigt sich, dass die DACH-Region ein geeignetes Untersuchungsfeld darstellt, während die Schweiz eine besonders aufschlussreiche Vertiefung liefert. Hinsichtlich des theoretischen Rahmens liefern die untersuchten politischen Dokumente jedoch nur begrenzte Erkenntnisse. Zukünftige Forschungen könnten daher verstärkt auf das Konzept der Socio-technical Imaginaries zurückgreifen, das in dieser Arbeit nur explorativ behandelt wurde.

Eine weitere Limitation liegt darin, dass die Analyse ausschließlich auf politischen Dokumenten basierte; für eine vertiefte Untersuchung, etwa im Hinblick auf Imaginaries oder theoretische Fragestellungen, sollten ergänzend Quellen aus weiteren Bereichen einbezogen werden.

6. Literaturverzeichnis

Asayama, S. (2021). The Oxymoron of Carbon Dioxide Removal: Escaping Carbon Lock-In and yet Perpetuating the Fossil Status Quo? *Frontiers in Climate*, 3, 673515.

<https://doi.org/10.3389/fclim.2021.673515>

BAFU. (2023, Juni 18). *Klima- und Innovationsgesetz: Abstimmung am 18. Juni 2023*. Klima- und Innovationsgesetz: Abstimmung am 18. Juni 2023.

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klima--dossiers/klimaschutzgesetz.html>

Beuttler, C, Keel, S. G, Leifeld, J, Schmid, M, Berta, N, Gutknecht, V, Wohlgemuth, N, Brodmann, U, Stadler, Z, Tinibaev, D, Wlodarczak, D, Honegger, M, & Stettler, C. (2019, August). *The Role of Atmospheric Carbon Dioxide Removal in Swiss Climate Policy – Fundamentals and Recommended Actions. Report by Risk Dialogue Foundation*. Federal Office for the Environment, Bern.

BMWE. (2024, Februar 26). *Eckpunkte der Bundesregierung für eine Carbon Management-Strategie*.

BMWET. (2019). *Long-Term Strategy 2050—Austria*.

Boettcher, M., Schenuit, F., & Geden, O. (2023). The formative phase of German carbon dioxide removal policy: Positioning between precaution, pragmatism and innovation. *Energy Research & Social Science*, 98, 103018. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103018>

Brad, A., Haas, T., & Schneider, E. (2024). Whose negative emissions? Exploring emergent perspectives on CDR from the EU's hard to abate and fossil industries. *Frontiers in Climate*, 5, 1268736. <https://doi.org/10.3389/fclim.2023.1268736>

Brad, A., & Schneider, E. (2023). Carbon dioxide removal and mitigation deterrence in EU climate policy: Towards a research approach. *Environmental Science & Policy*, 150, 103591. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.103591>

Brad, A., Schneider, E., Maneka, D., Hirt, C., & Gingrich, S. (2024). The politics of carbon management in Austria: Emerging fault lines on carbon capture, storage, utilization and removal. *Energy Research & Social Science*, 116, 103697.

<https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103697>

Buck, H. J., Carton, W., Lund, J. F., & Markusson, N. (2023). Why residual emissions matter right now. *Nature Climate Change*, 13(4), 351–358. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01592-2>

Bundeskanzlei. (2025, September 28). *Volksabstimmung*. Volksabstimmung vom 18.06.2023. <https://www.bk.admin.ch/bk/de/home/politische-rechte/pore-referenzseite.html>

Bundesministerium Österreich. (2024, Juni 3). *Österreichische Carbon Management Strategie (CMS)*. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. <https://www.bundestkanzleramt.gv.at/medien/ministerraete/ministerraete-seit-dezember-2021/103a-mr-26-jun.html>

Bundesrat. (2021, Januar 28). *Langfristige Klimastrategie der Schweiz*.

Bundesrat. (2022). *CO₂-Abscheidung und Speicherung (CCS) und Negativemissionstechnologien (NET)*. Schweizerische Eidgenossenschaft.

Bundesrat. (2025, Januar 29). *Ergänzung Langfristige Klimastrategie—Ergänzung für NDC 2031-2035_de*.

Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W. W. L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., ... Péan, C. (2023). *IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]*. IPCC, Geneva, Switzerland. (First). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

Carton, W., Hougaard, I.-M., Markusson, N., & Lund, J. F. (2023). Is carbon removal delaying emission reductions? *WIREs Climate Change*, 14(4), e826. <https://doi.org/10.1002/wcc.826>

Chevalier, G., Diamond, L. W., & Leu, W. (2010). Potential for deep geological sequestration of CO₂ in Switzerland: A first appraisal. *Swiss Journal of Geosciences*, 103(3), 427–455. <https://doi.org/10.1007/s00015-010-0030-4>

Dooley, K., & Kartha, S. (2018). Land-based negative emissions: Risks for climate mitigation and impacts on sustainable development. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 18(1), 79–98. <https://doi.org/10.1007/s10784-017-9382-9>

- Geden, O., Schenuit, F., & Stiftung Wissenschaft Und Politik. (2020). Unconventional mitigation: Carbon dioxide removal as a new approach in EU climate policy. *SWP Research Paper*, 8/2020. <https://doi.org/10.18449/2020RP08>
- Grant, N., Hawkes, A., Mittal, S., & Gambhir, A. (2021). Confronting mitigation deterrence in low-carbon scenarios. *Environmental Research Letters*, 16(6), 064099. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac0749>
- Green, J., Hadden, J., Hale, T., & Mahdavi, P. (2022). Transition, hedge, or resist? Understanding political and economic behavior toward decarbonization in the oil and gas industry. *Review of International Political Economy*, 29(6), 2036–2063. <https://doi.org/10.1080/09692290.2021.1946708>
- Ipcc. (2022). *Global Warming of 1.5°C: IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty* (1. Aufl.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940>
- IPCC Glossary Search*. (o. J.). <https://apps.ipcc.ch/glossary/>
- Lefstad, L., Allesson, J., Busch, H., & Carton, W. (2024). Burying problems? Imaginaries of carbon capture and storage in Scandinavia. *Energy Research & Social Science*, 113, 103564. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103564>
- Lund, J. F., Markusson, N., Carton, W., & Buck, H. J. (2023). Net zero and the unexplored politics of residual emissions. *Energy Research & Social Science*, 98, 103035. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103035>
- Markusson, N., McLaren, D., & Tyfield, D. (2018). Towards a cultural political economy of mitigation deterrence by negative emissions technologies (NETs). *Global Sustainability*, 1, e10. <https://doi.org/10.1017/sus.2018.10>
- Mayring, P., & Fenzl, T. (2014). Qualitative Inhaltsanalyse. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 543–556). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-531-18939-0_38
- Prof. Dr. Astrid Epiney, Dr. Sian Affolter, & Dr. Janine Prantl. (2024, April 23). *Rechtliche Vorgaben für die CO₂- Speicherung im Untergrund EU-Recht, Rechtsvergleich und Implikationen für das Schweizer Recht*. Rechtsgutachten im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).

- Rhein, S., Brügge, C., Gomm, S., Wäger, P., Wehrli, S., Graber, A., Walker, L., & Bernauer, T. (2025). *Öffentliche Meinung zur CO₂-Entfernung in der Schweizer Klimapolitik: Befragungszeitraum: November 2023 - Februar 2024* (S. 27 p.) [Application/pdf]. ETH Zurich. <https://doi.org/10.3929/ETHZ-B-000723912>
- Schenuit, F., Böttcher, M., & Geden, O. (2023). “Carbon Management”: Opportunities and risks for ambitious climate policy.
- Schenuit, F., Colvin, R., Fridahl, M., McMullin, B., Reisinger, A., Sanchez, D. L., Smith, S. M., Torvanger, A., Wreford, A., & Geden, O. (2021). Carbon Dioxide Removal Policy in the Making: Assessing Developments in 9 OECD Cases. *Frontiers in Climate*, 3, 638805. <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.638805>
- SR 641.71. (2024, März 15). *Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz)*.
- SR 641.711. (2025, Mai 1). *Verordnung über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Verordnung)*.
- SR 814.310. (2025, Januar 1). *Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit*.
- SR 814.310.1. (2025, Januar 1). *Verordnung zum Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit*.
- UNFCCC. (2015). *The Paris Agreement* | UNFCCC. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- Unruh, G. C. (2000). Understanding carbon lock-in. *Energy Policy*, 28(12), 817–830. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00070-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00070-7)
- UREK. (2024, Oktober 11). 24.4256 | *Nationale Regelung zu Abscheidung, Transport und Speicherung von CO₂ | Geschäft | Das Schweizer Parlament* [Bundesversammlung]. Motion. <https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaeft?AffairId=20244256>
- Vaughan, N., Fuss, S., Buck, H., Schenuit, F., Pongratz, J., Schulte, I., Lamb, W. F., Probst, B., Edwards, M., Nemet, G. F., Cox, E., Smith, S., Iny Johnstone, Geden, O., Burke, J., Gidden, M., Roe, S., Müller-Hansen, F., & Minx, J. (2024). *The State of Carbon Dioxide Removal—2nd Edition*. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/F85QJ>

Von Rothkirch, J., Ejderyan, O., & Stauffacher, M. (2024). Carbon dioxide removal: A source of ambition or of delays? Examining expectations for CDR in Swiss climate policy.

Environmental Science & Policy, 153, 103659. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.103659>

Wenger, A., Stauffacher, M., & Dallo, I. (2021). Public perception and acceptance of negative emission technologies – framing effects in Switzerland. *Climatic Change*, 167(3–4), 53.

<https://doi.org/10.1007/s10584-021-03150-9>