

Investitionsbedarf und Finanzierungsmöglichkeiten von CCS-Technologien in Sonderabfallverbrennungsanlagen

Studie im Auftrag von scienceindustries

Basel, 20. März 2025

Herausgeber
scienceindustries

Ansprechpartner BAK Economics AG
Andrea Wagner
Leiterin Regionalanalysen
T +41 61 29 797 04
Andrea.Wagner@bak-economics.com

Ansprechpartner Deutsche Energie-Agentur GmbH
Leon Flöer
Seniorexperte Industrie
T +49 30 66 777 218
Leon.Floer@dena.com

Adresse
BAK Economics AG
Elisabethenanlage 7
CH-4051 Basel
T +41 61 279 97 00
F +41 61 279 97 28
info@bak-economics.com
www.bak-economics.com

Copyright © 2025 by BAK Economics AG
Alle Rechte vorbehalten

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	5
1 Executive Summary	6
2 Ausgangslage und Fragestellung.....	9
3 Kostenabschätzung.....	10
3.1 Vorgehen	10
3.2 Parametrisierung	11
3.3 Ergebnisse.....	18
4 Finanzierungsinstrumente	24
4.1 Übersicht	24
4.2 Stärkere Bepreisung des CO ₂ -Ausstosses in EHS	25
4.3 Carbon Contracts for Difference.....	27
4.4 Investitionskostenförderung	29
4.5 Betriebskostenförderung	32
4.6 Steuerliche Erleichterungen.....	33
4.7 Endproduktumlagen	35
4.8 Grüne Leitmärkte.....	37
4.9 Beihilferechtliche Einordnung.....	38
5 Einschätzungen der Finanzierungsinstrumente	40
5.1 Quantifizierung der Finanzierungslücken je nach Förderung.....	40
5.2 Bewertung der Förderinstrumente	47
6 Fazit und Empfehlungen	56
7 Literaturverzeichnis	59
8 Anhang.....	63

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Investitionskosten in Abhängigkeit der Anlagengrösse.....	15
Abbildung 2:	Vergleich Preisniveau Schweiz mit anderen Ländern	16
Abbildung 3:	Gegenüberstellung mit Schweiz spezifischen Annahmen und unveröffentlichter Studie	18
Abbildung 4:	Kostenszenarien für Vermeidungskosten 2030	19
Abbildung 5:	Kostenszenarien für Vermeidungskosten 2050	20
Abbildung 6:	Entwicklung Kostentreiber	22
Abbildung 7:	Einordnung der Ergebnisse in EHS-Preise	23
Abbildung 8:	Funktionsweise Carbon Contracts for Difference	27
Abbildung 9:	Förderansatz Norwegen	29
Abbildung 10:	Funktionsweise 45Q Programm der USA	34
Abbildung 11:	Auswirkungen Endverbraucherumlage	35
Abbildung 12:	Vorgeschlagene Emissionsgrenzwerte für CO ₂ -armen Zement im Hintergrundpapier zum Konzept des grünen Leitmarkts Deutschland	37
Abbildung 13:	Bewertungskriterien der Förderinstrumente	47
Abbildung 14:	Bewertung Investitionskostenzuschüsse für CCS, 2030/50	48
Abbildung 15:	Bewertung indirekte Investitionskosten-orientierte Förderungen CCS, 2030/50	50
Abbildung 16:	Bewertung Betriebskostenzuschüsse für CCS, 2030/50	51
Abbildung 17:	Bewertung von Carbon Contracts for Difference für CCS, 2030/50	53
Abbildung 18:	Bewertung der Förderinstrumente für CCS, 2030, 2050	54

Abkürzungsverzeichnis

AEUV.....	Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union
BIK.....	Bundesförderung für Industrie und Klimaschutz
BMWK.....	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
CAPEX.....	Capital Expenditure
CBAM.....	Carbon Border Adjustment Mechanism
CCfD.....	Carbon Contracts for Difference
CCS.....	Carbon Capture and Storage
CCU.....	Carbon Capture and Utilization
CCU/S.....	Carbon Capture Utilization and/or Storage
CEEAG.....	Climate, Energy and Environmental Aid Guidelines
EEG.....	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EHS.....	Emissionshandelssystem
EnG.....	Energiegesetz
EU EHS.....	Europäisches Emissionshandelssystem
EVS.....	Einspeisevergütungssystem
IRA.....	Inflation Reduction Act
KIG.....	Klima- und Innovationsgesetz
KIV.....	Klimaschutz-Verordnung
LESS.....	Low Emission Steel Standard
OPEX.....	Operational Expenditure
SAVA.....	Sonderabfallverbrennungsanlagen
SuG.....	Subventionsgesetz
TAB.....	Thermische Abfallbehandlungsanlagen
THG.....	Treibhausgas
WACC.....	Weighted Average Cost of Capital

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht Rahmenparameter	11
Tabelle 2:	Übersicht anlagenspezifische Parameter	14
Tabelle 3:	Übersicht wichtiger technischer Daten: Abscheidung & Transport von CO ₂	17
Tabelle 4:	Bewertungskriterien in der Ausschreibung «CO ₂ -Entnahme- und Speicherung, inkl. Sektorkopplung»	32
Tabelle 5:	Investitionskostenzuschüsse, einmalig 50%, 2030	41
Tabelle 6:	Investitionskostenzuschüsse, einmalig 50%, 2050	41
Tabelle 7:	Investitionskosten-Förderung, WACC auf 3%, 2050	42
Tabelle 8:	Investitionskosten-Förderung, WACC auf 3%, 2030	43
Tabelle 9:	Betriebskosten-Förderung, Betriebskostenzuschüsse, 2030	43
Tabelle 9:	Betriebskosten-Förderung, Betriebskostenzuschüsse, 2050	44
Tabelle 11:	Förderung CCfD, 2030	45
Tabelle 12:	Förderung CCfD, 2050	45
Tabelle 13:	Kombination von einmaliger Investitionsförderung und Betriebskosten (jeweils 50%), 2030	46

1 Executive Summary

Bei Sonderabfallverbrennungsanlagen (SAVA) sowie in vereinzelt Produktionsprozessen der chemisch-pharmazeutischen Industrie fallen schwer vermeidbare CO₂-Emissionen an, weshalb CCU/S (Carbon Capture Utilisation/Storage)-Technologien für diese eine hohe Bedeutung als Vermeidungsoption haben. Der Begriff CCU/S-Technologien umfasst die grundsätzliche Möglichkeit das CO₂ zu nutzen oder zu speichern. Im Rahmen der Studie wird die Speicherung von CO₂ betrachtet, da die Nutzung von CO₂ in Kombination mit Wasserstoff mit deutlich höheren Kosten verbunden ist sowie in Zukunft die Nutzung sich auf biogenes und atmosphärisches CO₂ fokussieren wird. Auf die Thematik von CCU wird gesondert im Anhang in einem kurzen Exkurs eingegangen.

scienceindustries ist an Lösungen interessiert, die die Attraktivität des Forschungs- und Produktionsstandorts Schweiz erhalten und Carbon Leakage vermeiden. Um ihre Mitgliedsunternehmen zu unterstützen, benötigt es eine Einschätzung des Investitionsbedarfs für CCS bei SAVA und einer Validierung und Konkretisierung möglicher Anreizsysteme und Förderinstrumente. Eine Schlüsselfrage ist dabei, wie eine faire Finanzierung aussehen könnte, ohne die Unternehmen mit hohen und schwer vermeidbaren CO₂-Emissionen übermässig zu belasten.

scienceindustries hat deshalb bei BAK Economics (BAK) und bei der Deutschen Energie-Agentur (dena) eine Studie in Auftrag gegeben, um folgende Fragen zu beantworten:

- Was sind Investitionsbedarfe und Betriebskosten für CCS bei den Sonderabfallanlagen in der Schweiz?
- Wie können diese Kosten finanziert werden? Welche Finanzierungs- und Unterstützungsmöglichkeiten gibt es?
- Wie sind die diskutieren Unterstützungsmöglichkeiten/Anreizsysteme einzuschätzen?

Im Rahmen der Studie wurden auf Basis von Desktop-Analysen und Experteninterviews mit Unternehmen Kostenabschätzungen für den Einsatz von Carbon Capture and Storage (CCS) an Sonderabfallverbrennungsanlagen für die Jahre 2030 und 2050 ermittelt. Über den Vergleich mit möglichen zukünftigen Preisen im Emissionshandel wurde betrachtet, ob eine Finanzierungslücke vorliegt. Daraufhin wurden die am häufigsten derzeit diskutieren Instrumente zur Schliessung der Finanzierungslücke untersucht und bewertet. Die wichtigsten analysierten Förderinstrumente sind:

- Zuschüsse zu Investitionskosten,
- Zuschüsse zu Betriebskosten,
- Carbon Contracts for Difference (CCfD)¹,
- Investitionsanreize wie z.B. Steuererleichterungen,
- Grüne Leitmärkte,
- Umlagen auf Verbraucher.

¹ Unter Carbon Contracts for Difference wird ein Förderansatz verstanden, der darauf abzielt die Differenz zwischen Vermeidungskosten und CO₂-Preis auszugleichen.

Die wichtigsten Erkenntnisse der Studie sind:

1. Hohe Vermeidungskosten führen zu erheblicher Finanzierungslücke.

Im Jahr 2030 liegen sehr hohe Vermeidungskosten² für die Umrüstung auf CCS bei den SAVA vor. Die berechneten Vermeidungskosten liegen zwischen 381 und 630 CHF/t CO₂. Bei Berücksichtigung höherer Investitionskosten aufgrund des höheren Preisniveaus der Schweiz ergeben sich Vermeidungskosten von 441 bis 739 CHF/t CO₂. Im Jahr 2050 bewegen sich die Vermeidungskosten zwischen 171 und 339 CHF/t CO₂ und für ein höheres Preisniveau zwischen 217 und 416 CHF/t CO₂. Für 2030 ergibt sich zwischen den prognostizierten EHS-Preisen und den berechneten Vermeidungskosten eine hohe Finanzierungslücke. Aufgrund gesunkener Vermeidungskosten und steigender EHS-Preise vermindert sich die Finanzierungslücke bis 2050 deutlich. Um bei der Nutzung von CCS-Technologien im Wettbewerb bestehen zu können, benötigen die SAVA staatliche Unterstützung.

2. Transport und Speicherung sind als externe Kosten die wichtigsten Kostentreiber.

Die abgeschätzten Kosten für CO₂-Transport und -Speicherung liegen im Jahr 2030 zwischen 220 und 340 CHF/t CO₂. Dies sind etwa 52 bis 58 Prozent der gesamten Vermeidungskosten. Voraussetzungen für eine kostengünstige CCS-Kette sind der Transport per Pipeline sowie die ausreichende Kapazität von Speicherstätten. Erst nach 2035 ist damit zu rechnen, dass entsprechende Rahmenbedingungen vorhanden sind, da die Schweiz als Binnenland abhängig von den Entwicklungen in anderen Ländern ist. Entsprechend verringert sich die Schätzung für Transport- und Speicherkosten auf 61 bis 132 CHF/t CO₂ im Jahr 2050.

3. Die bestehenden Förderprogramme sind derzeit nicht ausreichend, um Finanzierungslücken zu schliessen.

Die bestehenden Förderprogramme, die Klimaschutz-Verordnung (KIV) und die dazugehörige Ausschreibung «CO₂-Entnahme und -Speicherung inkl. Sektorkopplung» können die Finanzierungslücke im Jahr 2030 nicht schliessen. Von den untersuchten Förderinstrumenten können nur CCfD die Finanzierungslücken decken, da diese sowohl Investitions- und Betriebskosten und als einziges Instrument die Kosten für Transport und Speicherung berücksichtigen.

4. CCfD sind am besten geeignet, um Finanzierungslücken zu schliessen.

Zum Schliessen der Finanzierungslücke sollte ein CCfD-basiertes Förderprogramm eingeführt werden. Bei dessen Ausgestaltung können bereits bestehende Förderrichtlinien Deutschlands (Klimaschutzverträge), Dänemarks (CCS-Fund) und der Niederlande (SDE++) als Best-Practice Beispiele dienen.

5. Die betrachteten Fördermassnahmen sind mit EU-Beihilferecht kompatibel.

Nach einer ersten nicht-juristischen Einschätzung sind die diskutierten Fördermassnahmen mit dem EU-Beihilferecht kompatibel, sofern sie branchenübergreifend ausgestaltet werden. Eine gezielte Auslegung eines neuen Förderprogramms zur Förderung von SAVA könnte nicht mit dem Beihilferecht kompatibel sein.

² Vermeidungskosten ergeben sich aus den jährlichen Betriebskosten sowie Zins- und Investitionskosten für ein Jahr im Vergleich zur Menge der vermiedenen CO₂-Emissionen. Die vermiedenen CO₂-Emissionen ergeben in dieser Arbeit für CCS aus der Menge an abgeschiedenen CO₂-Emissionen sowie den emittierten Emissionen aus dem Betrieb der Anlage (energiebedingte Emissionen). Weitere Treibhausgas-Emissionen aus dem Bau der Anlage oder dem Transport des CO₂ werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

6. Das bestehende Vorgehen bei der CO₂-Bepreisung sollte beibehalten werden, bis Rahmenbedingungen für eine effiziente CCS-Kette gegeben sind.

Solange die Rahmenbedingungen aus Verfügbarkeit von Infrastruktur und ausreichender Förderung nicht gegeben sind, sollte das bestehende Vorgehen bei der CO₂-Bepreisung beibehalten werden. Für den Erhalt gleicher Rahmenbedingungen mit den europäischen Nachbarstaaten ist darauf hinzuwirken, dass die SAVA in der Schweiz vom Emissionshandelssystem (EHS) ausgenommen bleiben, solange dies auch auf europäischer Ebene der Fall ist.

Empfehlungen:

1. Zeitlich angepasste Transformation ermöglichen

Die Emissionsvermeidung von SAVA und prozessbedingten Emissionen mittels CCS sieht sich mit verschiedenen Herausforderungen konfrontiert, die ein zeitlich angepasstes Massnahmenpaket zur Bewältigung benötigen. Der wirtschaftliche Einsatz von CCS ist im Wesentlichen vom Hochlauf der Infrastruktur, der Entwicklung des EHS-Preises, der Aufnahme thermischer Abfallbehandlungsanlagen in den EU EHS sowie der Ausgestaltung neuer Förderprogramme abhängig. Die Ausnahme der SAVA aus dem EHS sollte so lange Bestand haben, bis es auf Ebene der EU eine einheitliche Regelung gibt. Es sollte keine weitere Belastung für die Unternehmen durch eine zusätzliche Bepreisung der CO₂-Emissionen aus der Umsetzung der Abfälle (SAVA) geben. Parallel sind durch den Schweizer Staat die Rahmenbedingungen vorzugeben, um den Hochlauf einer CCS-Infrastruktur zu ermöglichen. Die Ausgestaltung eines Förderprogramms für CCS sollte auf Basis des CCfD-Modells erfolgen.

2. Nur Kombination von Beihilfen zu Investition und Betrieb könnten Finanzierungslücke vor 2050 schliessen

Um den hohen spezifischen Finanzierungsbedarf für die Anschaffung der relativ kleinen CO₂-Abscheideanlagen realisieren zu können, benötigt es vor allem zu Beginn eine Unterstützung durch Investitionskostenzuschüsse. Einmalige Investitionskostenzuschüsse zur CCS-Anlage sind besonders effektiv; auch eine Reduktion der Finanzierungskosten (durch Bürgschaften etc.) wirkt deutlich kostensenkend. Da aber die Transport- und Speicherkosten bis zum vollständigen Hochlauf der Infrastruktur hoch bleiben, braucht es zusätzlich Beihilfen zu den laufenden Kosten, wie dies im Klima- und Innovationsgesetz (KIG) mit der Förderung von Investitions- und Betriebsbeiträgen vorgesehen ist.

Investitionskosten-fokussierte Fördermassnahmen (v.a. in Form von Einmalzahlungen) sind angezeigt, um die ersten CCS-Projekte zu realisieren. Zusätzlich sollten Fördermassnahmen in dieser Phase auch Betriebskosten umfassen und so dazu beitragen die Finanzierungslücke zu schliessen. Eine gesetzliche Grundlage für eine solche nicht verursachergerechte Förderung besteht prinzipiell durch das KIG (Art. 6), allerdings nur bis 2030. Dieser Zeithorizont ist angesichts der derzeit bestehenden Rahmenbedingungen nicht ausreichend. Der Fördermechanismus könnte jedoch komplementär zur Förderung durch das CO₂-Gesetz fortgesetzt werden.

2 Ausgangslage und Fragestellung

Carbon Capture and Storage (CCS) ist für Sonderabfallverbrennungsanlagen der chemisch-pharmazeutischen Industrie essenziell zur Reduktion schwer vermeidbarer CO₂-Emissionen. Zur Sicherung des Arbeitsplatzes Schweiz und zur Vermeidung von Carbon Leakage sind Investitionsbedarfe für CCS sowie geeignete Anreiz- und Förderinstrumente zu evaluieren. Zentral ist die Frage einer verursachergerechten Finanzierung, die Unternehmen nicht übermäßig belastet.

Kernfragen der Studie sind:

- Welche Investitions- und Betriebskosten entstehen für CCS bei den Sondermüllverbrennungsanlagen der chemisch-pharmazeutischen Industrie in der Schweiz?
- Wie lassen sich diese Kosten finanzieren? Welche Fördermöglichkeiten bestehen?
- Wie sind verschiedene Anreizsysteme zu bewerten?

Der Bericht gliedert sich wie folgt:

Ausgangslage und Fragestellung der Studie werden in Kapitel 2 dargelegt.

In Kapitel 3 werden die Kosten der Einführung von CCS-Technologien bei den SAVA geschätzt. Dazu erfolgt zunächst die Parametrisierung der Annahmen. Anschliessend werden die Ergebnisse der Kostenabschätzung vorgestellt. Zusätzlich werden die wichtigsten Kostentreiber dargelegt und die Kosten den prognostizierten EHS-Preisen gegenübergestellt.

In Kapitel 4 werden die wichtigsten Anreiz- und Finanzierungsinstrumente beschrieben. Es wird deren Funktionsweise erklärt und Beispiele, wie diese bereits angewendet werden, vorgestellt. Ausserdem wird auf die derzeit bestehenden Ansätze in der Klimaschutzarchitektur der Schweiz eingegangen.

In Kapitel 4 werden die für die SAVA wichtigsten Finanzierungsinstrumente validiert, indem die jeweiligen Finanzierungslücken ermittelt werden. Anschliessend werden die Instrumente nach Effektivität, Vollzugskosten, Wettbewerbssituation der SAVA sowie die Kompatibilität der Instrumente mit der EU bzw. der Schweizer Politik beurteilt.

Die wichtigsten Erkenntnisse und die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen werden in Kapitel 5 beschrieben.

3 Kostenabschätzung

Zur Ermittlung des Finanzierungsbedarfs werden Kosten für ausgewählte Sonderabfallverbrennungsanlagen (SAVA) in der Schweiz berechnet. Die Kostenabschätzung untersucht, ob eine Finanzierungslücke vorliegt und dient als Basis zur Abschätzung möglicher Finanzierungsbedarfe.

Die Kostenabschätzung für die Anlagen fusst auf einer vereinfachten Berechnung auf Basis von Literaturangaben. Nachstehend wird das Vorgehen der Berechnung, die Annahmen und berücksichtigten Parameter sowie die Ergebnisse dargestellt. Die Ergebnisse werden mit bestehenden Studien aus dem Schweizer Kontext verglichen, um die Annahmen zu validieren.

3.1 Vorgehen

In der Analyse sollen die Vermeidungskosten spezifischer Anlagen für die Jahre 2030 und 2050³ ermittelt werden, um eine erste möglichst realitätsnahe Abschätzung der Kosten von Carbon Capture and Storage (CCS) als THG-Minderungstechnologie zu ermitteln sowie die Notwendigkeit einer Finanzierung zu überprüfen.

In die Berechnung werden einbezogen:

- Energiebedarf
- Investitions- und Betriebskosten für die CO₂-Abscheidung
- Kosten für den Transport und die Speicherung des CO₂ (vereinfachte Annahmen)
- sowie Kapitalkosten über einen Weighted Average Cost of Capital (WACC) Faktor.

Ausser den abgeschiedenen Emissionen werden auch die zusätzlichen energetischen Emissionen durch den Betrieb der Abscheideanlage berücksichtigt. Die Kosten werden auf das Jahr 2020 bezogen und für die Umrechnung EURO zu CHF wird ein Wechselkurs von 1:1 gewählt. Zur Berücksichtigung des höheren Preisniveaus in der Schweiz werden die Investitions- und operativen Kosten aus der Literatur über einen Faktor (CAPEX-Faktor) an das Schweizer Preisniveau angepasst (siehe Kapitel 3.2.2).

Aufgrund der hohen Unsicherheiten, die bei einer Berechnung von Kosten für 2030 und insbesondere für 2050 bestehen, werden Bandbreiten für die Kosten jeder Anlage ermittelt (Gering, Mittel, Hoch). Bei diesen werden unterschiedliche Annahmen für

- Energiekosten,
- Investitionskosten und operativen Kosten,
- Transport- und Speicherkosten,
- sowie die Entwicklung der EHS-Preise getroffen.

Für die Bandbreiten je Anlage ergeben sich dann drei Kostenszenarien: Gering, Mittel und Hoch für alle betrachteten Anlagen.

³ Für die Berechnung gilt die Annahmen, dass im dem jeweiligen Jahr (2030 & 2050) die Inbetriebnahme erfolgt. Die Investitionskosten fallen ebenfalls im jeweiligen Jahr an.

3.2 Parametrisierung

Zur Ermittlung belastbarer Kosten für die CO₂-Abscheidung sowie nachgelagert den Transport und die Speicherung werden Annahmen auf Basis aktueller Literatur für Energiepreise, Investitions- sowie operative Kosten und weitere Bedingungen getroffen. In der nachstehenden Darstellung wird zwischen Rahmenparametern (siehe Tabelle 1) und anlagenspezifischen Parametern (siehe Tabelle 2) unterschieden.

3.2.1 Rahmenparameter

Die Rahmenparameter umfassen die Energiekosten (Strom & Dampferzeugung), Kosten für CO₂-Transport und -Speicherung sowie die CO₂-Preisentwicklung im Rahmen des Schweizer Emissionshandelssystems (EHS).

Tabelle 1: Übersicht Rahmenparameter

		Bandbreite		
		Gering	Mittel	Hoch
Energiekosten (CHF/MWh)				
Strom	2030	53	58	63
	2050	50	60	70
Strom + Netzentgelt	2030	113	118	123
	2050	110	120	130
Wärme (Erdgas)	2030	25	37	48
Wärme (Wärmepumpe)	2050	50	53	56
Transport & Speicherung (CHF/t CO₂)				
CO ₂ -Transport	2030	159	159	219
	2050	50	95	103
CO ₂ -Speicherung	2030	60	90	120
	2050	11	14	29
EHS-Preise (CHF/t CO₂)				
	2030	95	135	210
	2050	200	300	400

Quelle: BAK und dena

Energiekosten

Die Strompreise für 2030 basieren auf den Energieperspektiven 2050+ (BFE, 2021). Die Strompreise inklusive Netzentgelte haben sich aus den Experteninterviews ergeben. Für 2050 ergeben sich die Kosten aus Strompreisprognosen für Deutschland; die Netzentgelte wurden mit einer Höhe von 60 CHF/MWh angenommen (Prognos, 2024; ifo, 2024) (siehe Tabelle 1).

Die Preise zur Dampferzeugung (Wärme) ergeben sich für 2030 aus den Annahmen von BAK & dena (2023). Für 2050 wurden auf Basis von Danish Energy Agency (2024) die Wärmepreise über eine Wärmepumpe ermittelt (siehe Box) (Danish Energy Agency, 2024).

Exkurs: Rechnung Dampferzeugung im Jahr 2050

Für die Berechnung der Dampferzeugung im Jahr 2050 wird eine industrielle Wärmepumpe betrachtet. Dafür werden die Investitions- und operativen Kosten sowie der Wirkungsgrad aus Danish Energy Agency (2024) entnommen.

Für die Berechnung wird angenommen, dass die Abwärme der Abscheideanlage verwendet wird. Der Grossteil der Abwärme befindet sich auf einem Temperaturniveau bei etwa 60 °C. Mithilfe einer industriellen Wärmepumpe wird diese Abwärme auf ein Temperaturniveau von 130 bis 150 °C erhöht (typisches Temperaturlevel für die Abscheidung von CO₂ über chemische Waschverfahren). Dabei wird entsprechend der Daten von Danish Energy Agency (2024) ein durchschnittlicher Coefficient of Performance (COP) von 3,2 angenommen.

Transport

Die Transportkosten umfassen den CO₂-Transport von der Anlage zur Speicherstätte. Nach aktuellem Kenntnisstand wird eine CO₂-Pipeline im Jahr 2030 in der Schweiz noch nicht zur Verfügung stehen. Dies gilt auch für den Anschluss der Schweiz ans deutsche oder gegebenenfalls italienische Pipelinenetz. Aus diesem Grund wird für dieses Jahr der Transport per Zug angenommen. Für die Bandbreiten Gering und Mittel wird der Zugtransport nach Italien angenommen zum Projekt Ravenna mit einer Distanz von 500 km (eni, 2024). Für die Bandbreite Hoch wird die Distanz für den Zugtransport nach Nordeuropa mit 1000 km angenommen.⁴ Die Kosten basieren auf den Werten für die Standardtarife die von DB Cargo für den Gütertransport ausgegeben werden (DB Cargo, 2024; vdz, 2024; VTG, 2022).

Für 2050 gilt die Annahme, dass in der Schweiz ein Pipelinenetz vorhanden ist (vgl. BAK, dena (2023)). Für die Bandbreite Gering wird die Verfügbarkeit von Speicherstätten innerhalb der Schweiz angenommen. Für die Bandbreite Mittel erfolgt auch 2050 der CO₂-Transport nach Italien und für Bandbreite Hoch nach Deutschland. Die Kosten dafür leiten sich aus Danish Energy Agency (2024) und Saipem (2020) ab.

⁴ In Nordeuropa werden aktuell an verschiedenen Häfen Terminals geplant zum Transport von CO₂ zu Speicherstätten. Darunter fallen die Projekte Porthos in den Niederlanden, CO₂nectNow in Deutschland sowie die Entwicklungen in Zeebrugge (Belgien) und Le Havre (Frankreich).

Anschlusspunkte ans Pipelinenetz in Italien und Deutschland sind Wallbach und Monthey (BAK; dena, 2023). Aus BAK, dena (2023) ist bekannt, dass ein Anschluss der Schweiz ans deutsche Pipelinenetz ab 2040 als realistisch angesehen wird.

Speicherkosten

Die Kosten der Speicherung basieren auf Experteneinschätzungen sowie Angaben zu den aktuell in Bau befindlichen Anlagen Northern Lights in Norwegen und Porthos in den Niederlanden (Northern Lights, 2023; Carbon Herald, 2024; Xodus, 2024). Daraus wird eine Kostenbandbreite von 60 bis 120 CHF/t CO₂ abgeleitet, woraus sich die dargestellten Bandbreiten ergeben.

Exkurs: Kosten CO₂-Transport per Zug und Einordnung

Zur Ermittlung der Kosten werden die Standardtarife für den Gütertransport der DB Cargo verwendet. Ein Wagen kann dabei ein Gewicht von 62 t fassen (VTG 2023). Die belaufen sich für die relevanten Mengen und untersuchten Distanzen auf:

- Strecke: 500 km; Sendungsgewicht: 54,5 bis 65 t pro Wagen;
Kosten: 10.586 € pro Wagen
- Strecke: 1.000 km; Sendungsgewicht: 54,5 bis 65 t pro Wagen;
Kosten: 14.857 € pro Wagen

Bei 100.000 t CO₂ ergeben sich daraus ein täglicher Transportbedarf von 5 Wagen. Auf die Tonne CO₂ gerechnet ergeben sich daraus die Kosten von 159 bis 219 €/t CO₂.

Diese Kosten liegen deutlich über den Kosten, die in einer Studie des deutschen Verbands der Zementindustrie (vdz) angegeben werden. Hier werden Kosten von 65 €/t CO₂ angegeben. Dies ist zum einen in der geringeren Distanz begründet. Weiterhin können die Kosten der Studie nicht nachvollzogen werden. Aus diesem Grund wird für diese Arbeit der Ansatz über die Standardtarife der DB Cargo gewählt.

Die Kosten für die Speicherung innerhalb der Schweiz für 2050 (Bandbreite Gering) werden auf Basis von Danish Energy Agency (2024) ermittelt. Für die Bandbreite Mittel und Hoch werden die Kosten auf Basis erster Ergebnisse des GEOSTOR Projektes angenommen (GEOSTOR, 2024).

Entwicklung EHS-Preise

Für 2030 ergeben sich die EHS-Preise basierend auf Ariadne (2021) und Kalkuhl et al. (2023) (Kalkuhl, Kellner, Bergmann, & Rütten, 2023; Ariadne, 2021).

Die Ableitung für 2050 ergibt sich aus Pahle et al. (2024). Grundsätzlich gilt, dass die Abschätzung für 2050 mit hohen Unsicherheiten behaftet ist, da die Austeilung von Zertifikaten im EU EHS 1 im Jahr 2039 ausläuft und danach noch Unklarheit über die Funktionsweise des EU EHS besteht (Pahle, Quemin, Osorio, Günther, & Pietzcker, 2024).

3.2.2 Anlagenspezifische Parameter

Zur Ermittlung der Kosten je Anlage werden spezifische Parameter angenommen. Dies gilt insbesondere für die Entwicklung von Investitionskosten, Energiebedarf sowie operativen Kosten (siehe Tabelle 2). Einige der anlagenspezifische Parameter stammen von SAVA-Betreibenden.

Tabelle 2: Übersicht anlagenspezifische Parameter

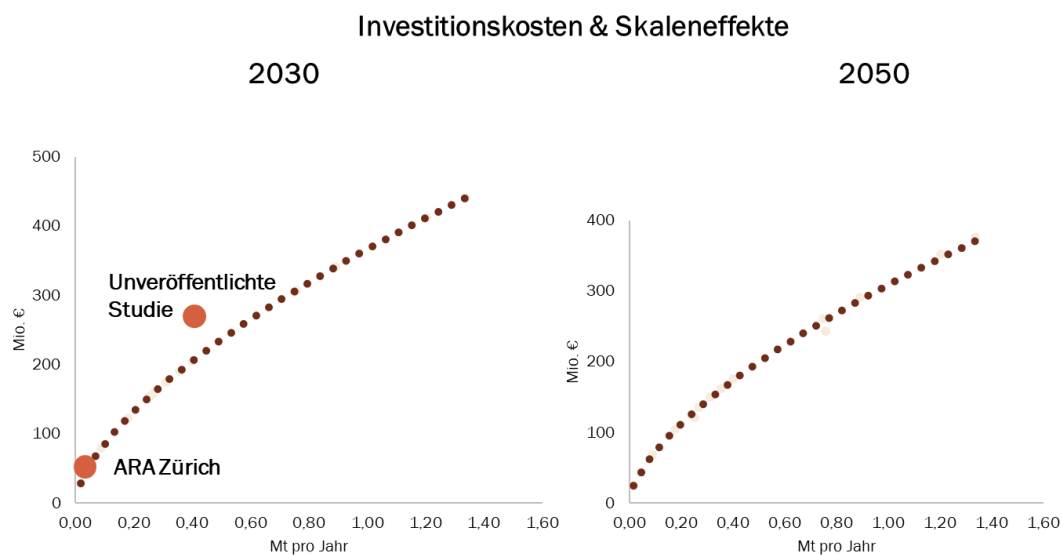
		Bandbreite		
		Gering	Mittel	Hoch
Anlagenspezifische Daten				
CAPEX	2030	Siehe Abbildung 1		
	2050			
WACC (%)	2030	8		
	2050			
Lebensdauer Abscheideanlage (a)	2030	25		
Fixed OPEX (Mio. €/t CO ₂ /h)	2030	0,14		
	2050	0,11		
Variable OPEX (€/t CO ₂)	2030	2,5		
	2050			
Strombedarf (kWh/t CO ₂)	2030	30 (Abscheideanlage) 100 (Kompression) 160 (Verflüssigung)		
	2050			
Wärmebedarf (kWh/t CO ₂)	2030	720		
	2050	600		

Quelle: BAK und dena

Investitionskosten

Grundsätzlich basieren die Investitionskosten auf Danish Energy Agency (2024). Lerneffekte zwischen 2030 und 2050 sind dort bereits einbezogen. Für den Einbezug von Skaleneffekten wurden Kostenkurven für die Investitionskosten in Abhängigkeit der abgeschiedenen Menge CO₂ erstellt. Der Verlauf der Kostenkurven basiert auf Beiron et al. (2022). Der Abbildung 1 können die Kostenkurven für 2030 und 2050 entnommen werden. Zur Validierung der Ergebnisse und dem Verlauf der Kostenkurve im Jahr 2030 wurden zwei bisher nicht veröffentlichte Schweizer Studien verwendet.

Abbildung 1: Investitionskosten in Abhängigkeit der Anlagengrösse



Quelle: Eigene Darstellung von BAK und dena

Zum Einbezug der Zinskosten wird ein WACC von 8 Prozent angenommen (Beiron, Normann, & Johnsson, 2022). Für die Lebensdauer der Anlage gilt die Annahme von 25 Jahren (Beiron, Normann, & Johnsson, 2022; Danish Energy Agency, 2024).

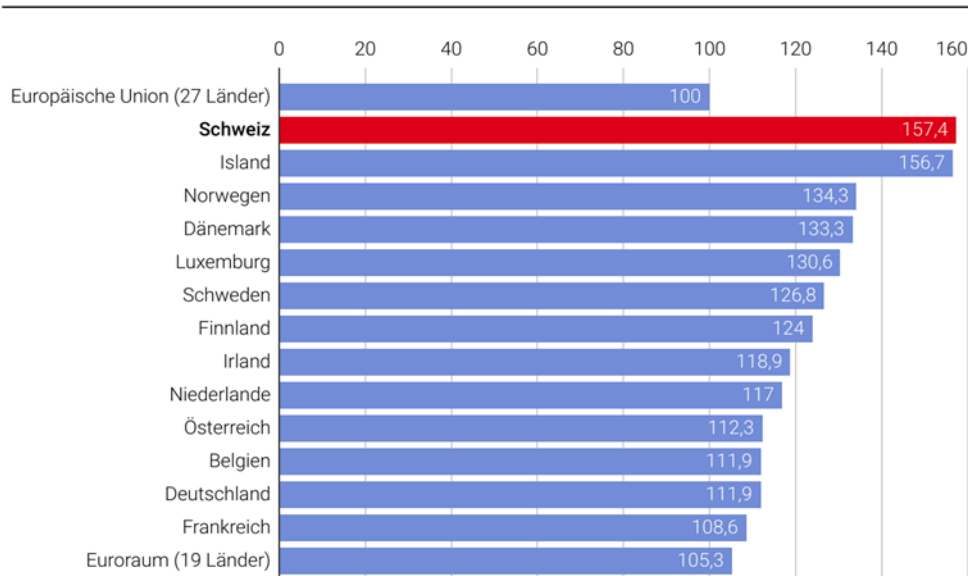
Zur Berücksichtigung von Unsicherheiten werden bei der Bandbreite Gering die Investitionskosten um 20 Prozent reduziert und bei der Bandbreite Hoch um 20 Prozent erhöht.

Zuletzt liegt bei der Ermittlung von Investitionskosten für CO₂-Abscheideanlage in der Schweiz eine Herausforderung in dem höheren Preisniveau der Schweiz (siehe Abbildung 2). In der Studie BAK & dena (2023) wurden deshalb die Investitionskosten um den Faktor 1,5 erhöht.

Abbildung 2: Vergleich Preisniveau Schweiz mit anderen Ländern

Preisniveauindizes nach Land, 2022

Provisorische Ergebnisse, EU27 = 100 (Bruttoinlandprodukt)



Quelle: (BFS, 2022)

Es gibt auch Argumente dafür keinen Faktor zur Anpassung der Investitionskosten einzuführen:

- Der Anlagenbau kann zu Teilen im Ausland erfolgen.
- Über die bestehende Berücksichtigung von Unsicherheiten bei den Investitionskosten in der Berechnung (+/- 20 Prozent) wird dieser Effekt bereits abgebildet.
- Dies gilt insbesondere für die Kosten, deren Angaben aus Dänemark/Norwegen stammen.

Aus diesen Gründen wird in dieser Studie eine Variante gerechnet ohne die Anpassung der Kosten sowie eine Variante mit einem CAPEX-Faktor von 1,5 zur Anpassung der Kosten (BFS, 2022).

Operative Kosten

Die operativen Kosten für die CO₂-Abscheideanlage ergeben sich aus Danish Energy Agency (2024).

Energiebedarf

Es wird angenommen, dass die Abscheidung über ein chemisches Waschverfahren nach der Entstehung des CO₂ erfolgt (Post-Combustion). Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die Abscheideanlage nachgerüstet wird. Der Energiebedarf für die CO₂-Abscheidung wird für ein chemisches Waschverfahren Danish Energy Agency (2024) entnommen. Dort wird bereits eine Reduktion des Wärmebedarfs um etwa 17 Prozent von 2030 bis 2050 durch technologische Innovationen angenommen.

Technische Daten

In Tabelle 3 wird eine Übersicht gegeben über die grundlegenden technischen Daten, die für die Abscheidung sowie Transport und Speicherung hinterlegt wurden. Diese stellen den aktuellen Wissensstand vor (Danish Energy Agency, 2024).

Tabelle 3: Übersicht wichtiger technischer Daten: Abscheidung & Transport von CO₂

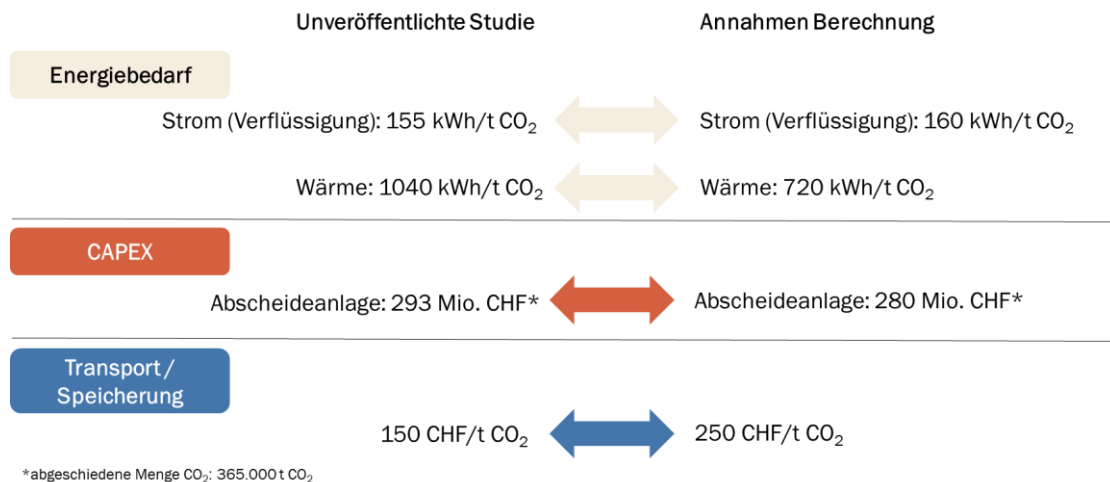
Technische Daten	
Abscheidung (Temperaturniveau)	
Input	130 bis 150 °C
Output	60 bis 70 °C
Transport	
Zug (Druck)	14 bis 18 bar
Zug (Temperatur)	-14 bis -22 °C
Pipeline (Druck)	80 bis 150 bar
Pipeline (Temperatur)	5 bis 25 °C

Quelle: BAK und dena

3.2.3 Validierung der Annahmen

Zur Überprüfung der Annahmen für die Schweiz wurden die Annahmen denen anderer Schweiz-spezifischer Studien gegenübergestellt. Dafür wurden zwei bisher nicht veröffentlichte Studien berücksichtigt.

Abbildung 3: Gegenüberstellung mit Schweiz spezifischen Annahmen und unveröffentlichter Studie



Quelle: Eigene Darstellung von BAK und dena

Die Abbildung 3 zeigt, dass die hier getroffenen Annahmen sich in einem ähnlichen Bereich bewegen wie die Annahmen in einer der Studien. Der höhere Wärmebedarf ergibt sich daraus, dass innerhalb der Studie eine Anlage im Jahr 2020 verwendet wird und Innovationen nicht berücksichtigt sind. Der Unterschied in den Kosten für Transport & Speicherung sind darauf zurückzuführen, dass die Transportkosten per Zug und zu den Offshore Speicherstätten in dieser Studie höher ausfallen.

Insgesamt werden die Annahmen zusammen mit den Bandbreiten für eine erste Kostenschätzung sowie zur Ableitung einer Finanzierungslücke als valide eingeschätzt.

3.3 Ergebnisse

Mit den oben getroffenen Annahmen wurden die Vermeidungskosten für die Jahre 2030 und 2050 ermittelt. Diese werden zunächst vorgestellt. Anschliessend erfolgt eine Einordnung der Kostentreiber. Zuletzt wird untersucht, ob sich eine Finanzierungslücke im Jahr 2030 und 2050 im Vergleich zum EHS-Preis ergibt.

3.3.1 2030

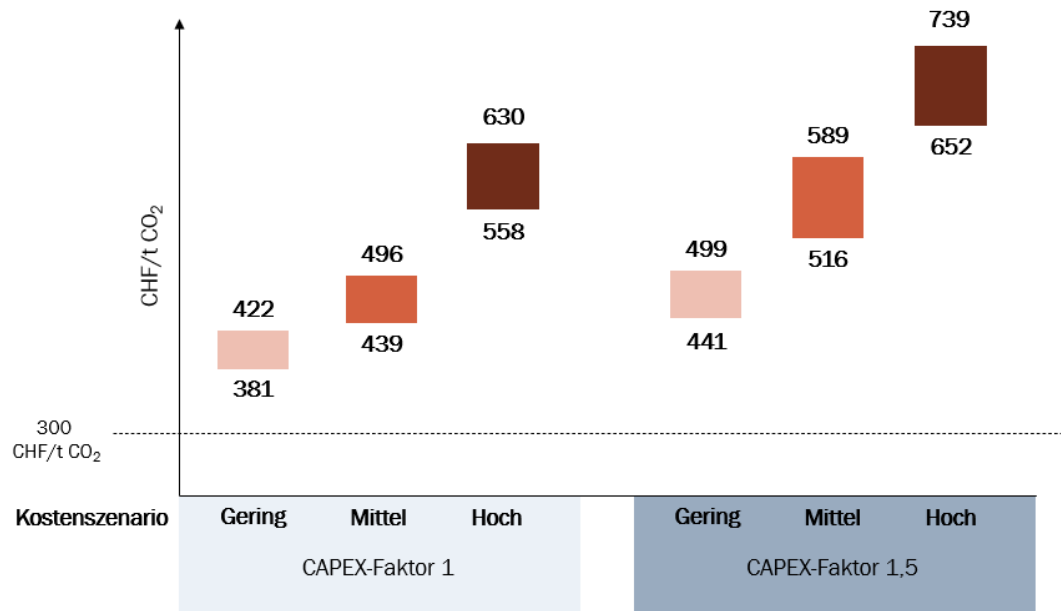
Im Jahr 2030 liegen die Vermeidungskosten inkl. Abscheideanlage für das Kostenszenario Mittel zwischen 439 und 496 CHF/t CO₂ im Jahr 2030 (siehe Abbildung 4). Die Kosten liegen insgesamt zwischen 381 bis 630 CHF/t CO₂. Beim Vergleich mit den Kosten der KVA Linth (230 bis 500 CHF/t CO₂) fallen die Kosten höher aus (ZAR, 2023). Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass die betrachteten Anlagen geringere CO₂-Emissionen haben sowie auf die Annahmen zu den Transport- und Speicherkosten für 2030.

Im Vergleich zur CO₂-Abscheideanlage liegen die Kosten für das Projekt zur Nachrüstung der Klärschlammverbrennungsanlagen Zürich bei etwa 700 bis 900 CHF/t CO₂. Diese setzen sich zusammen aus 35,5 Mio. CHF Investitionskosten und 14,2 Mio CHF jährlichen Betriebskosten für die Abscheidung von zu Beginn 20.000 und später 25.000 t CO₂ pro Jahr (Stadt Zürich, 2024). Somit bewegen sich die errechneten Kosten im Rahmen bestehender Schweizer Projekte.

Investitionskosten – CAPEX-Faktor 1,5

Wird für die Investitionskosten ein Faktor von 1,5 statt 1 verwendet, liegen beim Kostenszenario Mittel die Vermeidungskosten inkl. Abscheideanlage zwischen 516 bis 589 CHF/t CO₂ (siehe Abbildung 4). Die Kosten liegen insgesamt zwischen 441 bis 739 CHF/t CO₂.

Abbildung 4: Kostenszenarien für Vermeidungskosten 2030

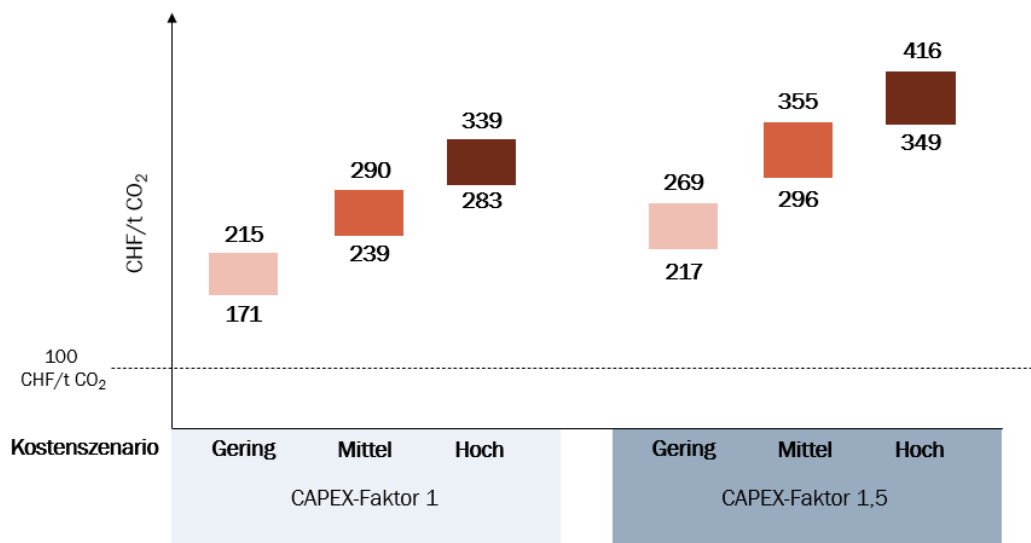


Quelle: Eigene Darstellung von BAK und dena

3.3.2 2050

Im Jahr 2050 liegen die Vermeidungskosten inkl. Abscheideanlage für das Kostenszenario Mittel bei 239 bis 290 CHF/t CO₂ (siehe Abbildung 5). Die Kosten liegen insgesamt zwischen 171 bis 339 CHF/t CO₂.

Abbildung 5: Kostenszenarien für Vermeidungskosten 2050



Quelle: Eigene Darstellung von BAK und dena

Investitionskosten – CAPEX-Faktor 1,5

Wird auch hier für die Investitionskosten ein Faktor von 1,5 angesetzt, ergeben sich Vermeidungskosten inkl. Abscheideanlage von 296 bis 355 CHF/t CO₂ (siehe Abbildung 5). Die Kosten liegen insgesamt zwischen 217 bis 416 CHF/t CO₂.

3.3.3 Kostentreiber und deren Entwicklung

Zur Auswahl eines effizienten Anreizsystems für den Einsatz von CCS benötigt es ein Verständnis über die wesentlichen Kostentreiber. Dies gilt auch in Hinblick auf die Abschätzung von Unsicherheiten und wie diese reduziert werden können. Deswegen werden nachstehend die Kostentreiber in den Jahren 2030 und 2050 ermittelt und verglichen.

Grundsätzlich kann zwischen externen und internen (projektspezifischen) Kostentreibern unterschieden werden:

Externe Kostentreiber

Die Entwicklung der Energiekosten ist abhängig von den Stromgestehungskosten sowie den Netzentgelten. Beides sind Faktoren die Anlagenbetreiber selbst nur schwer beeinflussen können. Aufgrund der Energieintensität der Abscheidung sind die Energiekosten ein wesentlicher Kostentreiber.

Weiterhin wichtig sind die Standortbedingungen. Der Bau einer Abscheideanlagen benötigt entsprechenden Platz, was gerade bei Nachrüstungen eine Herausforderung sein kann. Dieser Punkt wurde in der Studie nur oberflächlich im Rahmen der Experteninterviews betrachtet. Ausserdem ist die Möglichkeit der Infrastrukturanbindung ein sehr wichtiger Punkt. Bereits in Kapitel 3.2 wurde auf die mögliche Anbindung der Schweiz ans deutsche oder italienische Pipelinenetz hingewiesen. An den Anlagenstandorten selbst kann eine Herausforderung darin bestehen, dass kein Gleisan-

schluss vorhanden ist oder der Zugang zu Häfen nicht möglich ist. Auch ein notwendiger Ausbau der Stromnetze durch den höheren Strombedarf kann zu höheren Gesamtkosten führen. Auch diese Punkte konnten nur vereinfacht basierend auf den Experteninterviews bewertet werden.

Die Kosten können ebenfalls von der Reihenfolge weiterer Dekarbonisierungsschritte abhängen, wodurch die abzuscheidende CO₂-Menge ggf. sinken kann. Andere Dekarbonisierungsschritte können prioritär angegangen werden, womit eine Lösung über CCS erst zu einem späteren Zeitpunkt umsetzbar wäre. Auch eine gemeinsame Umsetzung der CO₂-Abscheidung mit weiteren Anpassungen an den Anlagen kann zu Synergien führen.

Bis auf die Energiekosten wurden diese genannten Kostentreiber nicht im Rahmen der Kostenbetrachtung einbezogen. Dennoch können diese dazu führen, dass die Vermeidungskosten höher ausfallen, weshalb sie bei weitergehenden Analysen einbezogen werden sollten.

Der wichtigste externe Kostentreiber sind die Transport- und Speicherkosten. Die Schweiz als Binnenland wird auf den Export von CO₂ angewiesen sein, solange es keine inländischen Speicherstätten gibt. Wie bereits oben ausgeführt wird deren Erschließung frühestens ab Ende der 2030er/Anfang der 2040er Jahre erwartet. Dies gilt auch für den Anschluss ans italienische oder deutsche Pipelinenetz. In dieser Zwischenzeit sind Anlagenbetreibende auf den Transport per Zug und Binnenschiff angewiesen, was zu deutlich höheren Transportkosten führt. Dies erklärt auch den erheblichen Kostenunterschied zwischen 2030 und 2050.

Bei der Speicherung führt die Offshore-Speicherung und der entsprechende Transport zu den Speicherstätten zu deutlich höheren Kosten im Jahr 2030. Die Kosten der CO₂-Speicherung für 2030 beziehen sich auf 1st-of-a-Kind Projekte, deswegen ist bei industrieller Skalierung mit einer erheblichen Preisreduktion zu rechnen. Dies ist aber auch mit Unsicherheiten behaftet, deswegen kann erst nach Betriebsbeginn der ersten Projekte eine sicherere Kostenschätzung erfolgen.

Abbildung 6: Entwicklung Kostentreiber

	2030		2050
CAPEX	180 - 247 CHF/t CO ₂	↘	127 - 175 CHF/t CO ₂
OPEX	35 CHF/t CO ₂	↘	24 CHF/t CO ₂
Energiekosten	58 CHF/t CO ₂	↘	47 CHF/t CO ₂
Transport	150 - 220 CHF/t CO ₂	↘	50 - 103 CHF/t CO ₂
Speicherung	60 - 120 CHF/t CO ₂	↘	11 - 29 CHF/t CO ₂

Quelle: Eigene Darstellung von BAK und dena

Interne Kostentreiber

Grundsätzliche interne Kostentreiber für die Anlage sind die

- Investitionskosten
- operative Kosten
- sowie Energiebedarfe.

Aus dem Vergleich der Investitionskosten für 2030 und 2050 ergibt sich, dass die Investitionskosten der wichtigste Kostentreiber sind (siehe Abbildung 6). Dies ist darin begründet, dass bei Anlagen mit weniger Emissionen (< 100.000 t CO₂), die Investitionskosten pro Tonne CO₂ erheblich steigen (siehe Kapitel 3.2.2). Durch Lerneffekte können die Kosten hier potenziell reduziert werden.

Die operativen Kosten verändern sich weniger stark zwischen den Jahren 2030 und 2050 und tragen nur geringfügig zu den Gesamtkosten bei.

Im Gegensatz zu grossen Anlagen, wie in der Zementindustrie, sind die Energiekosten ein Treiber der Kosten, aber nicht der Wichtigste. Durch die Dampfbereitstellung über eine Wärmepumpe entstehen geringere CO₂-Emissionen bei der Energiebereitstellung. Dies ist begründet im höheren Wirkungsgrad sowie des Einsatzes von THG-neutralem Strom. Die Energiekosten selbst sind auf einem ähnlichen Niveau, teilweise höher, wie im Jahr 2030. Dies ist auf die Strompreise zurückzuführen.

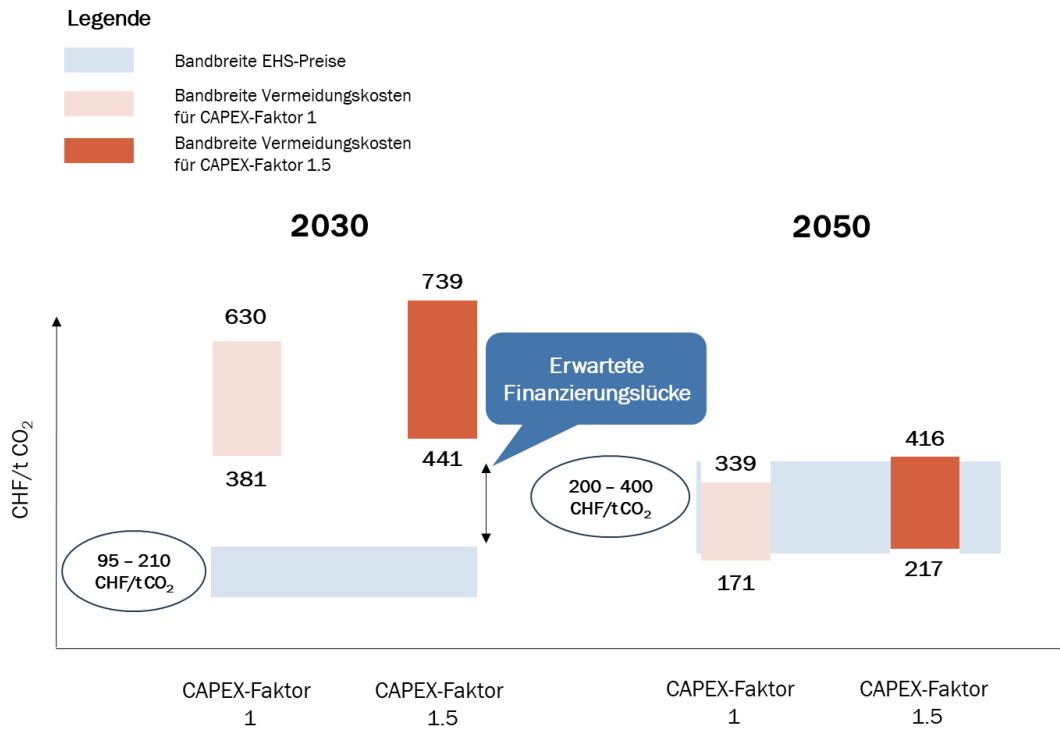
Zusammenfassend zeigt sich, dass die Investitionskosten sowie die Kosten für Transport- und Speicherung die wichtigsten Kostentreiber für CCS an SAVA sind.

3.3.4 Einordnung der Kosten zum EHS-Preis

Werden die Kosten den angenommenen EHS-Preisen in den Jahren 2030 und 2050 gegenübergestellt, zeigt sich für 2030 eine erhebliche Finanzierungslücke in allen betrachteten Szenarien (siehe Abbildung 7). Bis zum Jahr 2050 wird sich diese Finanzierungslücke in Abhängigkeit der Höhe des EHS-Preises wahrscheinlich schliessen. Dies

ist mit sehr hohen Unsicherheiten behaftet, da sowohl die Kostenentwicklung für die Anlagen als auch die Entwicklung des EHS-Preises nicht mit Sicherheit vorausgesagt werden können.

Abbildung 7: Einordnung der Ergebnisse in EHS-Preise



Quelle: Eigene Darstellung von BAK und dena

Um die zu erwartende Finanzierungslücke im Jahr 2030 zu überwinden und Investitionen zu ermöglichen, benötigt es ein geeignetes Anreizsystem.

4 Finanzierungsinstrumente

4.1 Übersicht

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, Anreize für effektiven Klimaschutz zu schaffen und die Skalierung von CCU/S zu unterstützen. Nachfolgend findet sich ein Überblick über Ansätze, die bereits für die Skalierung von CCU/S verfolgt werden. Grundsätzlich kann zwischen Instrumenten der Nachfrage- und Angebotsseite unterschieden werden:

Nachfrageseite

Unter den finanziellen Instrumenten zur Steigerung der Nachfrage des Einsatzes von CCU/S-Technologien sowie derer kohlenstoffarmer Produkte spielen Steuern, Abgaben und Gebühren eine zentrale Rolle. Zu den nicht-finanziellen Massnahmen gehören Standards, Vorschriften und Quoten, die klassische Instrumente der Regulierung sind. Für CCU/S sind Quoten, grüne Leitmärkte und regulatorische Vorgaben besonders wichtig.

Angebotsseite

Angebotsseitige Instrumente fördern das Angebot an klimafreundlichen Produkten oder Dienstleistungen. Ein wichtiger Faktor dabei ist die Dauer der Förderung. Investitionsförderungen, wie sie etwa der EU-Innovationsfonds bietet, sind meist Einmalzahlungen. Im Gegensatz dazu laufen CCfD über längere Zeiträume, in der Regel 10 bis 15 Jahre.

Steuerliche Anreize können in Form von direkten Zuschüssen oder vereinfachten Abschreibungsmöglichkeiten gewährt werden. In den USA erfolgt dies für CCU/S über das 45Q-Programm. Unternehmen erhalten dabei eine pauschale Förderung, die von der Anlagengrösse und dem Ziel – Speicherung oder Nutzung – abhängt.

Zu den nicht-finanziellen Unterstützungsmassnahmen gehören Beratung, Öffentlichkeitsarbeit und der Aufbau von Wissen und Kapazitäten. Diese ergänzen finanzielle Förderungen und regulatorische Vorgaben, werden in den folgenden Abschnitten jedoch nicht weiter vertieft. Stattdessen werden die wichtigsten finanziell wirksamen Instrumente für CCU/S genauer erklärt.

Im Rahmen dieser Arbeit werden folgende Instrumente betrachtet:

- Stärkere Bepreisung des CO₂-Ausstosses
- CCfD
- Investitionskostenförderung
- Betriebskostenförderung
- Steuerliche Erleichterungen
- Endproduktumlagen
- Grüne Leitmärkte

Schweizer Förderkulisse

Die Schweizer Bevölkerung hat sich mit der Annahme des Klima- und Innovationsgesetzes (KIG) im Juni 2023 ambitionierte Klimaschutzziele gesetzt und strebt an ihre THG-Emissionen bis 2050 auf netto null zu reduzieren (Art. 3 KIG). Die Klimaschutzarchitektur der Schweiz bietet ein breites Portfolio an Förderinstrumenten an, die dabei helfen können dieses Ziel zu erreichen. Auf der Nachfrageseite hat die Schweiz ein Emissionshandelssystem (EHS), welches an das europäische Emissionshandelssystem (EU EHS) gekoppelt ist, dass die Emissionen aus der Abfallverbrennung der SAVA aktuell jedoch nicht abdeckt. Unternehmen, die nicht Teil des EHS sind, müssen entweder die nationale CO₂-Abgabe entrichten oder eine freiwillige Minderungsverpflichtung eingehen.

Auf der Angebotsseite gibt es mit der Klimaschutz-Verordnung (KIV) ein Förderprogramm zum Erreichen der Klimaschutzziele, das Betriebs- sowie Investitionskosten fördert.

Betreiber von CCS-Anlagen können von diesem Förderinstrument profitieren, um Finanzierungslücken zu schliessen und schwer vermeidbare Emissionen durch die Abscheidung und Speicherung von CO₂ vermeiden zu können. Nachstehend werden die wesentlichen Instrumente erläutert sowie bestehende Ansätze in Europa und der Schweiz vorgestellt. Abschliessend erfolgt eine erste beihilferechtliche Einordnung für die wichtigsten der Instrumente.

4.2 Stärkere Bepreisung des CO₂-Ausstosses in EHS

4.2.1 Funktionsweise

EHS wie der EU EHS basieren auf einem Cap & Trade System. Dabei wird eine Obergrenze für Emissionen festgelegt, die schrittweise gesenkt wird. Ziel ist es, die Ausgabe von Zertifikaten noch vor dem Jahr 2050 vollständig einzustellen und so in den abgedeckten Sektoren die Klimaneutralität zu erreichen. Übersteigt der CO₂-Preis die Kosten für die Implementierung von CCS, entsteht ein Anreiz, in CCS-Technologien zu investieren. Auf diese Weise sendet das EU EHS marktorientierte Investitionssignale für Emissionsreduktionen (Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt), 2025).

4.2.2 Bestehende Ansätze

Europäische Emissionshandelssystem (EU EHS) & Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)

Das EU EHS ist das zentrale Instrument zur Reduktion von THG-Emissionen in der EU. Der EU EHS wurde 2023 umfassend reformiert. Besonders relevant für SAVA- und Industrieanlagenbetreibende sind die Einführung des CBAM sowie das Auslaufen der Ausgabe von Zertifikaten bis 2039 im EU EHS 1 (Pahle, Quemin, Osorio, Günther, & Pietzcker, 2024).

Um das Risiko von «Carbon Leakage» zu verhindern – also die Verlagerung von Produktionsstätten in Länder mit geringeren CO₂-Kosten – erhalten bestimmte Industrien derzeit einen Teil ihrer Emissionszertifikate kostenlos (Free Allocation). Diese Zuteilung orientiert sich an den Emissionen der effizientesten 10 Prozent der Anlagen in einem Sektor.

Ab 2026 führt die EU den CBAM zunächst für spezifische Sektoren wie Stahl, Aluminium und Düngemittel ein⁵. Dieses Instrument stellt sicher, dass Importeure denselben CO₂-Preis zahlen wie Produzenten innerhalb der EU. Mit der schrittweisen Einführung des CBAM werden die kostenlosen Zertifikate nach und nach abgebaut und bis 2034 in den spezifischen Sektoren vollständig abgeschafft (Umweltbundesamt, 2023).

CCS ist im EU EHS enthalten. Für abgeschiedenes und dauerhaft gespeichertes CO₂ müssen keine Zertifikate abgegeben werden. Bei der Bindung von CO₂ in Produkten (CCU) gilt dies nur für permanent gebundenes CO₂ z.B. in Carbonbeton.⁶ Übersteigt der CO₂-Preis die Kosten für die Implementierung von CCS, entsteht ein direkter finanzieller Anreiz, in CCS-Technologien zu investieren. Das EU EHS nutzt somit Marktsignale, um private Investitionen in Emissionsminderungen zu fördern, ohne dass direkte staatliche Subventionen oder zusätzliche öffentliche Ausgaben erforderlich sind.

Bisher fallen thermische Abfallbehandlungsanlagen (TAB) und somit auch SAVA nicht unter das EU EHS. Bis 2026 prüft das europäische Parlament die Einbeziehung in das EU EHS. Ab 2028 sollen dann die Anlagen in das EU EHS einbezogen werden. Der potenzielle Bedarf für eine Opt-Out Möglichkeit für Mitgliedstaaten soll bis zum 31. Dezember 2030 geprüft werden.

4.2.3 Bestehende Möglichkeiten in der Klimaschutzarchitektur der Schweiz

Die Schweiz hat verschiedene Lenkungsinstrumente. Die CO₂-Abgabe auf fossile Brennstoffe zielt darauf ab, THG-Emissionen, die durch den Einsatz von fossilen Brennstoffen entstehen, zu reduzieren. Die CO₂-Abgabe beträgt seit 2022 120 CHF/t CO₂ (BAFU, 2025). Von der CO₂-Abgabe sind Unternehmen befreit, die am EHS teilnehmen oder eine Verminderungsverpflichtung eingegangen sind.

Das Schweizer EHS ist an das EU EHS gekoppelt. Durch die Kopplung übernimmt die Schweiz die Verschärfungen des «Fit-for-55»-Pakets. Dadurch werden Emissionsrechte knapper und die kostenlose Zuteilung bis 2034 schrittweise abgebaut. Während die EU zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit einen CO₂-Grenzausgleichsmechanismus (CBAM) einführt, verzichtet die Schweiz vorerst darauf. Der Bundesrat will die Situation 2026 erneut prüfen (Bundesrat, 2023; Polynomics; Frontier Economics; BAK, 2024).

Nach Art. 66 ff KIG ist es Betreibern, die eine wirtschaftliche oder öffentlich-rechtliche Tätigkeit ausüben, möglich, sich im Rahmen einer Verminderungsverpflichtung von der CO₂-Abgabe befreien zu lassen.

⁵ Der CBAM gilt für bestimmte direkte und indirekte THG-Emissionen von Produkten, die im Anhang I der CBAM-Verordnung definiert sind, in den folgenden Sektoren: Strom, Zement, Eisen und Stahl (nur direkte Emissionen), Düngemittel, Wasserstoff (nur direkte Emissionen), Aluminium (nur direkte Emissionen). Er umfasst CO₂-Emissionen sowie N₂O-Emissionen aus der Produktion bestimmter Chemikalien und PFC-Emissionen aus der Aluminiumproduktion. Bestimmte weiterverarbeitete Produkte (z. B. Schrauben) fallen ebenfalls in den Anwendungsbereich des CBAM.

⁶ Die Überarbeitung der EU EHS-Richtlinie enthält eine Bestimmung (Artikel 12.3.b), die besagt, dass keine Zertifikate für CO₂ abgegeben werden müssen, wenn dieses abgeschieden und dauerhaft in einem Produkt gebunden wird, wodurch eine erneute Freisetzung verhindert wird (auch bekannt als „Permanent CCU“).

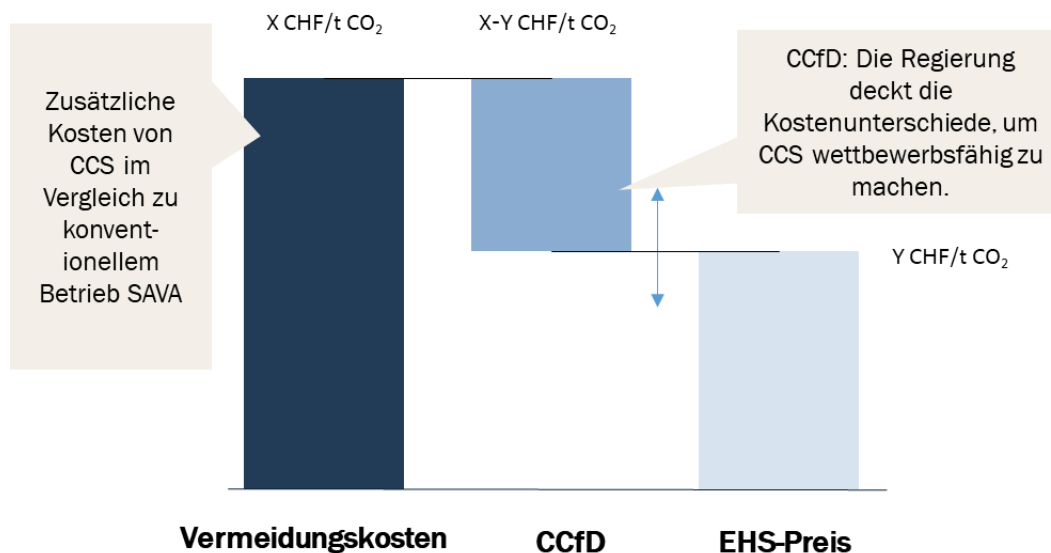
Die Verminderungsverpflichtung ist auf eine Laufzeit bis 2040 befristet und umfasst zwei Hauptzeiträume: 2025-2030 und 2031-2040. Unternehmen, die sich zu einer Verminderung verpflichten möchten, müssen eine gültige Zielvereinbarung mit dem Bund gemäss dem Energiegesetz (EnG) abschliessen, die festlegt, welche Effizienz- oder Reduktionsziele⁷ erreicht werden sollen. Zudem ist die Einreichung eines Dekarbonisierungsplans eine weitere Voraussetzung. Dieser Plan muss drei Jahre nach Beginn der Verminderungsverpflichtung erstellt und regelmässig aktualisiert werden. Er enthält Massnahmen, mit denen die Unternehmen ihre CO₂-Emissionen kontinuierlich senken sollen. Nach Art. 5 KIG stellt der Bund für Unternehmen fachkundige Beratung zur Verfügung, um bei der Erstellung dieser Pläne Unterstützung zu leisten.

4.3 Carbon Contracts for Difference

4.3.1 Funktionsweise

Beim Ansatz der CCfD wird der Unterschied zwischen dem CO₂-Preis und einem bilateral vereinbarten Vertragspreis ausgeglichen (siehe Abbildung 8). Dieser Kostenunterschied kann sich auf das Endprodukt oder den beteiligten Energieträger beziehen. Liegt bei einem CCfD der Vertragspreis oberhalb des CO₂-Marktpreises, zahlt der Staat eine Förderung an das Unternehmen. Ist der CO₂-Marktpreis höher als zum Schliessen der Finanzierungslücke erforderlich, muss das Unternehmen eine entsprechende Ausgleichszahlung an den Staat leisten. Der Vertragspreis, der vor Vertragsschluss (z.B. durch eine Ausschreibung oder administrativ) ermittelt und für die gesamte Vertragslaufzeit (z.B. 20 Jahre) festgelegt wird, garantiert dem Anlagenbetreiber die Amortisierung seiner Investitionskosten.

Abbildung 8: Funktionsweise Carbon Contracts for Difference



Quelle: Eigene Darstellung von BAK und dena

⁷ Ein wesentliches Merkmal der Verminderungsverpflichtung ist die Orientierung an Effizienzzielen statt an absoluten Emissionszielen (Art. 68 KIV). Diese Effizienzziele werden ins Verhältnis zur Produktionsmenge gesetzt und zielen darauf ab, die THG-Effizienz eines Unternehmens zu steigern, ohne die Gesamtmenge der Emissionen konkret vorzugeben.

4.3.2 Bestehende Ansätze

Klimaschutzverträge in Deutschland

Im Jahr 2023 führte die deutsche Bundesregierung Klimaschutzverträge ein. Diese ermöglichen es emissionsintensiven Unternehmen, die dem EU EHS unterliegen, an einem Auktionssystem teilzunehmen. In diesem System können Unternehmen ein Gebot abgeben, in dem sie den staatlichen Unterstützungsbedarf (zumeist die Vermeidungskosten) pro vermiedener Tonne CO₂ angeben, unabhängig vom CO₂-Preis. Liegt dieser Betrag über dem CO₂-Preis, subventioniert der Staat das Unternehmen, indem er die Differenz übernimmt. Übersteigt der CO₂-Preis den vertraglich festgelegten Basissatz, führt das Unternehmen die zusätzlichen Einnahmen an den Fördermittelgeber ab. Der Vertrag soll laut Programmentwurf jährlich an die Entwicklung der Energiepreise angepasst werden (BMWK, 2024).

Grundsätzlich sind alle Technologien förderfähig, die zur Reduktion von Emissionen beitragen können. Technologien zur CO₂-Abscheidung, -Nutzung und/oder -Speicherung sind jedoch nur für Anlagen förderfähig, bei denen prozessbedingte Emissionen unvermeidbar sind. Eine Spezifizierung soll die noch zu veröffentlichende deutsche Carbon-Management-Strategie liefern.

Die Klimaschutzverträge werden für eine Laufzeit von 15 Jahren mit den Bietern abgeschlossen, die die geringsten Förderkosten pro vermiedener Tonne CO₂ angeben. In der ersten Förderrunde wurden Projekte von 15 Unternehmen mit einem Gesamtvolumen von etwa 2,8 Milliarden Euro unterstützt (BMWK, 2024).

Die Projekte müssen folgende Mindestanforderungen erfüllen (BMWK, 2024):

- Ab dem dritten vollen Jahr der Vertragslaufzeit muss die relative THG-Reduktion im Vergleich zum Referenzsystem mindestens 60 Prozent betragen.
- Eine relative THG-Reduktion von mindestens 90 Prozent im Vergleich zum Referenzsystem muss innerhalb der Vertragslaufzeit technisch erreichbar sein und in den letzten 12 Monaten der Vertragslaufzeit realisiert werden.

CCS-Fund Dänemark

Im Jahr 2023 genehmigte die Europäische Kommission ein CCS-Förderprogramm in Dänemark, das auf einem CCfD Modell basiert. Die Förderung erfolgt über eine Ausschreibung, die für Anlagen in allen Industriesektoren, einschliesslich Energie- und Abfallwirtschaft, offen ist. Aufgrund begrenzter Mittel profitiert jedoch nur ein Empfänger oder ein Konsortium von Empfängern, das die Ausschreibung gewinnt (Clean Air Task Force (CATF), 2024).

Der gewinnende Bieter ist für die gesamte CCS-Wertschöpfungskette verantwortlich. Dazu gehören auch Vereinbarungen mit Transportfirmen und Speicherbetreibern. Der 20-jährige Vertrag deckt die Abscheidung, den Transport und die Speicherung von mindestens 0,4 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr ab, beginnend im Jahr 2026 (Clean Air Task Force (CATF), 2024).

Im dänischen Modell umfasst der Vertrag die Differenz zwischen den geschätzten Gesamtkosten für die Abscheidung und Speicherung einer Tonne CO₂ über die Vertragslaufzeit und den erwarteten Einnahmen oder Einsparungen des Bieters aus der Abscheidung und Speicherung. Dies schliesst mögliche Einsparungen oder Erlöse aus nicht genutzten EU EHS-Zertifikaten ein. Die Zuschusshöhe pro Tonne CO₂ basiert auf dem im siegreichen Gebot angegebenen Wert und wird jährlich angepasst – unter Berücksichtigung der Inflation, des aktuellen EU EHS Preises sowie der Einsparungen aus vermiedenen CO₂-bezogenen Steuern (Clean Air Task Force (CATF), 2024).

4.3.3 Bestehende Möglichkeiten in der Klimaschutzarchitektur der Schweiz

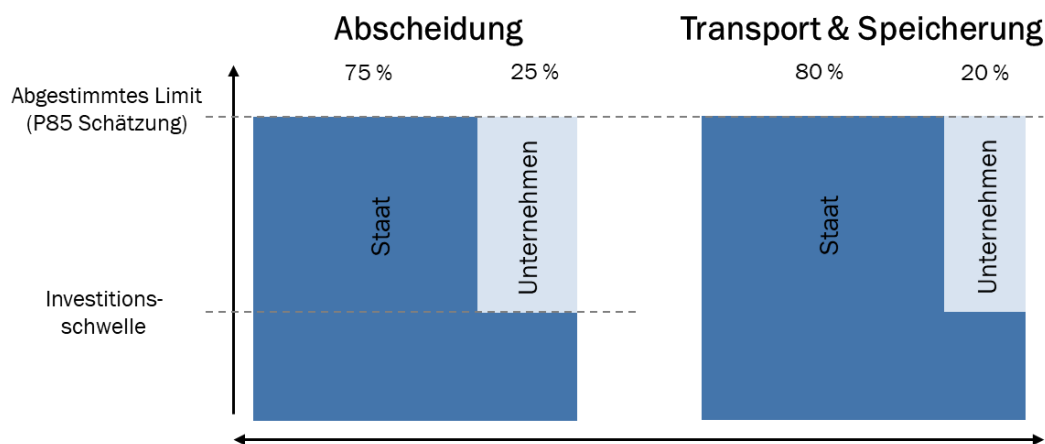
Bisher liegt kein Förderprogramm basierend auf dem Ansatz der CCfD in der Schweiz vor.

4.4 Investitionskostenförderung

4.4.1 Funktionsweise

Die Regierung gewährt Unternehmen Zuschüsse für ihre Investitionen. Die Höhe des Zuschusses kann auf der Grundlage der Differenz zwischen den alten und neuen Anlagen berechnet werden.

Abbildung 9: Förderansatz Norwegen



Quelle: (Røsjorde & Carpenter)

4.4.2 Bestehende Ansätze

Förderansatz Norwegen

In Norwegen finanziert die Regierung die gesamte CO₂-Prozesskette. Beim Northern-Lights-Projekt (Transport & Speicherung) übernimmt der Staat in der ersten Phase des Projekts 80 Prozent der Investitionskosten (siehe Abbildung 9). Das Fördermodell umfasst eine ähnliche Aufteilung für die Förderung von Betriebskosten. Die staatliche Unterstützung wird für die ersten zehn Betriebsjahre gewährt. Zusätzliche Kosten werden privat finanziert. Nach Abschluss der ersten Förderphase soll die Finanzierung ausschliesslich privat erfolgen (Røsjorde & Carpenter).

Für die Projekte zur Abscheidung von CO₂ Brevik (Zement) und Hafslund Celsio (Müllverbrennung) ist der Finanzierungsansatz sehr ähnlich. Die gesamten Investitionskosten für die drei Projekte wurden auf 1.860 Millionen Dollar berechnet, während die Betriebskosten bei etwa 4 bis 5 Prozent der jeweiligen Investitionskosten liegen. Ziel dieses Finanzierungsansatzes ist es, Unsicherheiten zu verringern und die hohen Anfangskosten für erstmalige Projekte durch staatliche Zuschüsse zu senken (Røsjorde & Carpenter).

Bundesförderung für Industrie und Klimaschutz in Deutschland

Das neue deutsche Förderprogramm «Bundesförderung für Industrie und Klimaschutz» (BIK) unterstützt Technologien zur CO₂-Abscheidung, -Nutzung und/oder -Speicherung. Ab dem Jahr 2024 sind CCU/S-Projekte förderfähig, die auf die Abscheidung schwer vermeidbarer Emissionen abzielen, beispielsweise in der Zement- und Kalkindustrie sowie bei der thermischen Abfallbehandlung.

Das Förderprogramm bietet Zuschüsse in den folgenden Bereichen (Kompetenzzentrum Klimaschutz in energieintensiven Industrien (KEI), 2025):

- Finanzielle Unterstützung für Unternehmen bei der Umsetzung von CCU/S-Technologien.
- Kosten im Zusammenhang mit dem CO₂-Transport (ausser dedizierter Infrastruktur) und der Speicherung sind nicht förderfähig.
 - Die Förderung pro Projekt beträgt bis zu 25 Millionen Euro für dedizierte Infrastrukturen und maximal 30 Millionen Euro für andere Investitionsprojekte.
 - Die Förderintensität beträgt bis zu 30 Prozent der förderfähigen Kosten.
- Finanzielle Unterstützung für Forschung und Entwicklung innovativer Ansätze:
 - Die Förderintensität liegt bei bis zu 25 Prozent für experimentelle Entwicklung und bei bis zu 50 Prozent für industrielle Forschung und Machbarkeitsstudien.
 - Pro Projekt können bis zu 35 Millionen Euro bereitgestellt werden.

Es bleibt ungewiss, inwieweit die Förderbeträge ausreichen, um CCU/S-Projekte angemessen zu unterstützen. Für kleinere Projekte und Forschungsaktivitäten wird die Förderung als ausreichend angesehen. Bei grösseren Projekten wird jedoch zusätzliche Unterstützung, beispielsweise durch Klimaschutzverträge, notwendig sein. Eine weitere Herausforderung in Deutschland besteht darin, dass es keinen ausreichenden Anreiz für Betreiber thermischer Abfallbehandlungsanlagen gibt, da diese nicht durch Klimaschutzverträge förderfähig sind.

4.4.3 Bestehende Möglichkeiten in der Klimaschutzarchitektur der Schweiz

In der Schweiz können Investitionskosten im Rahmen der Klimaschutz-Verordnung (KIV) gefördert werden. Die KIV ist ein Förderinstrument zur Unterstützung von Investitionen in klimafreundliche Infrastruktur und Technologien. Am 15.01.2025 wurde die KIV in Bezug auf CCS spezifiziert durch die Projektausschreibung CO₂-Entnahme und Speicherung, inkl. Sektorkopplung (BFE, 2025). In Art. 14 der KIV wird die Höhe der Finanzhilfe auf höchstens 50 Prozent begrenzt. Die Höhe kann angepasst werden, wenn der beantragte Investitionsbeitrag mehr als 20 Mio. CHF beträgt. Dann kann die Höhe der Finanzhilfe auf die Mehrkosten gegenüber den Kosten für die konventionelle Technik gekürzt werden.

Für eine Förderung gelten verschiedene Voraussetzungen und Rahmenbedingungen:

- Fahrplanpflicht: Ein Dekarbonisierungsplan gemäss Art. 5 KIG ist verpflichtend. Dieser Plan muss regelmässig aktualisiert werden und enthält klare Massnahmen zur CO₂-Reduktion.
- Anrechenbare Kosten: Dazu gehören Investitionskosten, welche für die wirtschaftliche und zweckmässige Umsetzung der Massnahmen unmittelbar notwendig sind (Art. 14 KIV).
- Gemeinschaftliche Antragstellung: Mehrere Unternehmen oder Betriebe können sich zusammenschliessen, um die Förderung zu beantragen.
- Ausschluss von Doppelförderungen: Gemäss Subventionsgesetz (SuG) und KIG ist eine doppelte Förderung von Massnahmen nicht erlaubt.
- Die Beantragung der Förderung ist bis zum 1. September 2030 möglich. Die Umsetzung der Massnahmen haben bis zum 31. Dezember 2035 zu erfolgen.

Die Projektausschreibung «CO₂-Entnahme und Speicherung, inkl. Sektorkopplung» konkretisiert die KIV für CCU/S und die CO₂-Entnahme. Das Budget der Ausschreibung ist auf 100 Mio. CHF begrenzt. Die Ausschreibung richtet sich an Pionierprojekte, Projekte die mehrere CO₂-Punktquellen kombinieren, Projekte die der Sektorenkopplung zuträglich sind sowie Infrastrukturprojekte. In der Ausschreibung wird eine Mindestmenge von 5.000 t CO₂ pro Jahr festgelegt. Weiterhin ist die Massnahme im Netto-Null-Fahrplan auszuweisen. Darüber hinaus sind Technologien ausgeschlossen, die zu einem höheren Verbrauch von fossilen Brennstoffen führen und nicht im Sinne der langfristigen Klimastrategie der Schweiz sind (BFE, 2025). Die Projekte sind einer der folgenden Quellen für das CO₂ zuzuordnen:

- Anlagen mit prozessbedingten CO₂-Emissionen, wie Anlagen zur Herstellung von Zementklinkern (fossil/(biogen))
- Anlagen, deren Hauptzweck die Entsorgung von Siedlungs- oder Sonderabfällen nach Artikel 3 Buchstaben a und c der Abfallverordnung vom 4. Dezember 2015 (VVEA) ist (fossil/biogen)
- Punktquelle – aus Abscheidestrom (z.B. Biogasaufbereitung) (biogen)
- Punktquelle – aus Verbrennungsprozess (biogen)
- Bestehenden Anlagen für die Produktion von Hochtemperaturprozesswärme von 800 Grad Celsius oder mehr (fossil/biogen)
- Atmosphäre (atmosphärisch).

Die Vorhaben werden dabei nach den folgenden Kriterien bewertet (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Bewertungskriterien in der Ausschreibung «CO₂-Entnahme- und Speicherung, inkl. Sektorkopplung»

Bewertungsskala	1	2	3	4	5	Gewichtung
Mitigationspotenzial [kt CO ₂ /a]	5-10	<20	<40	<100	>100	3
Kosten-Nutzen Verhältnis [CHF/t] ⁸	>400	<400	<300	<200	<100	2
Strategische Relevanz	Sehr niedrig	Niedrig	mittel	Hoch	Sehr hoch	2
Erfolgswahrscheinlichkeit	Sehr niedrig	Niedrig	mittel	Hoch	Sehr hoch	2
Anwendungspotenzial	Sehr niedrig	Niedrig	mittel	Hoch	Sehr hoch	1
Innovationsgehalt	Sehr niedrig	Niedrig	mittel	Hoch	Sehr hoch	1

Quelle: BFE (2025)

Die Frist zur Einreichung der Pre-Proposal ist der 25. April 2025 und für das Full Proposal der 31. Oktober 2025 (BFE, 2025).⁹

4.5 Betriebskostenförderung

4.5.1 Funktionsweise

Die Regierung gewährt Unternehmen Zuschüsse für ihre Betriebskosten. Die Höhe des Zuschusses kann auf der Grundlage der Differenz zwischen den alten und neuen Betriebskosten berechnet werden.

4.5.2 Bestehende Ansätze

Der Ansatz zur Förderung der Investitionskosten ist sehr ähnlich zum Ansatz der Förderung von Investitionskosten. Deswegen ist an dieser Stelle auf Kapitel 4.4 verwiesen.

⁸ «Das Kosten-Nutzen Verhältnis bezeichnet das Verhältnis zwischen dem beantragten Förderbeitrag (in CHF) und der Gesamtmenge der angestrebten Verminderung der Treibhausgasemissionen oder den Umfang der angestrebten Negativemissionen über die Betrachtungsdauer der Massnahme in CHF/Tonne CO₂-eq vermindert resp. NET (d.h. das Mitigationspotenzial)» (BFE, 2025).

⁹ «In der Stufe der Pre-Proposal steht die Prüfung der formellen Kriterien im Fokus. Die materiellen Anforderungskriterien und die Bewertungskriterien werden in dieser Phase noch nicht abschliessend bewertet, es wird jedoch eine informelle Einschätzung der Fachexperten auf die Erfolgchancen abgegeben. Ein Netto-Null Fahrplan muss zum Zeitpunkt des Pre-Proposals in Erarbeitung sein, jedoch noch nicht zwingend beigelegt werden. In der Stufe der Full-Proposal erfolgt eine abschliessende Bewertung aller Kriterien (formelle und materielle Anforderungskriterien sowie Bewertungskriterien). Ein Netto-Null Fahrplan ist dem Full-Proposal beizulegen und wird in dieser Stufe geprüft.» (BFE, 2025)

4.5.3 Bestehende Möglichkeiten in der Klimaschutzarchitektur der Schweiz

Zusätzlich zur Förderung von Investitionsbeiträgen bietet die KIV und die Ausschreibung «CO₂-Entnahme und -Speicherung, inkl. Sektorkopplung» auch die Möglichkeit der Förderung von Betriebsbeiträgen. Diese decken laufende Betriebskosten der Anlage. Fraglich ist ob, Kosten für den Transport und die Speicherung von CO₂ förderbar sind. Die Förderhöhe für Betriebsbeiträge beläuft sich genau wie bei den Investitionsbeiträgen auf 50 Prozent (Art. 14 KIV). Für die Förderung gelten folgende Rahmenbedingungen:

- Betriebsbeiträge werden höchstens 7 Jahre ausgerichtet, also maximal bis zum 31. Dezember 2037 (Art. 15 KIV).
- Gleiche Voraussetzungen wie bei Investitionsbeiträgen: Auch hier ist ein Dekarbonisierungsplan erforderlich, und die Förderung unterliegt den gleichen rechtlichen Vorgaben.

Die Betriebsbeiträge ergänzen die Investitionsbeiträge, indem sie Unternehmen helfen, wiederkehrende Betriebskosten zu tragen. Investitions- und Betriebsbeiträge sind je nach Bedarf kombinierbar¹⁰, was wesentlich zur Flexibilität der Förderinstrumente beiträgt.

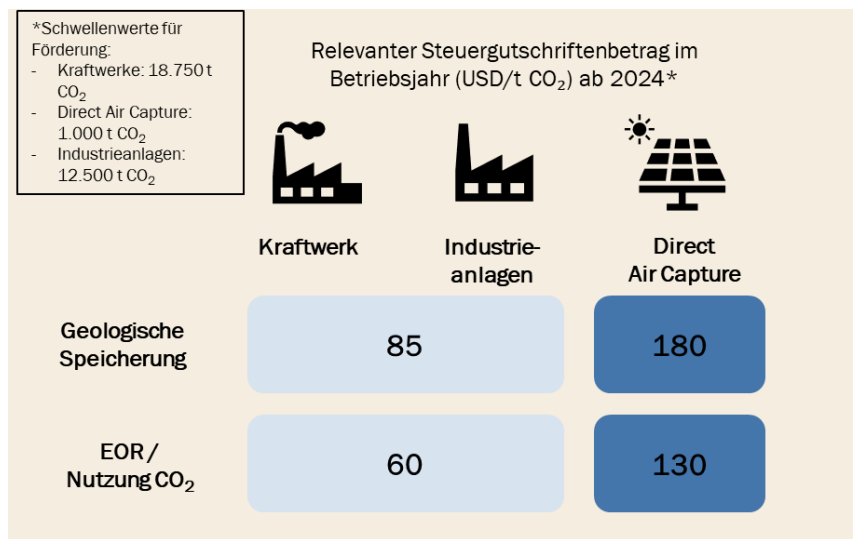
4.6 Steuerliche Erleichterungen

4.6.1 Funktionsweise

Durch Steuergutschriften und schnellere Abschreibungen sollen Investitionskosten verringert werden. Zudem können die laufenden Kosten der Projekte gesenkt werden, wenn die Steuern und Abgaben für die Abscheidung, den Transport und die Speicherung von CO₂ gesenkt oder aufgehoben werden.

¹⁰ Artikel 11 KIV (erläuternder Bericht KIV): Im Rahmen von Artikel 6 KIG sind Investitionsbeiträge und Betriebsbeiträge vorgesehen (Abs. 1), welche je nach Unterstützungsbedarf separat oder kombiniert angewendet werden können.

Abbildung 10: Funktionsweise 45Q Programm der USA



Quelle: (Carbon Capture Coalition, 2023)

4.6.2 Bestehende Ansätze

Eine in den USA beliebte Fördermöglichkeit ist die gezielte Vergünstigung von Steuern. Das bekannte Steuervergünstigungsprogramm in den USA heisst «45Q» und wurde durch den jüngsten Inflation Reduction Act (IRA) erweitert und bietet auch Steuervergünstigungen für Unternehmen, die CCU/S-Projekte realisieren (Congressional Research Service, 2023).

Die Höhe der Vergünstigung hängt u.a. davon ab, ob das CO₂ aus fossilen Quellen oder direkt aus der Atmosphäre abgeschieden wurde und ob es gespeichert oder genutzt wird (siehe Abbildung 10).

Grundlegend wird für die direkte Abscheidung von CO₂ aus der Atmosphäre eine höhere Vergünstigung gewährt als für die Abscheidung von CO₂ aus fossilen Quellen. Weiterhin wird für die Speicherung des abgeschiedenen CO₂ eine höhere Vergünstigung gewährt als für die Nutzung.

Zur Teilnahme am Förderprogramm sind Mindestanforderungen zu erfüllen, die sich an der Menge des abgeschiedenen CO₂ ausrichten:

- Stromerzeugungsanlagen: 18.750 t CO₂
- Industrieanlagen: 12.500 t CO₂
- Direct Air Capture Anlagen: 1.000 t CO₂

Die steuerliche Entlastung gilt nur für CCU/S-Anlagen, die bis zum 01.01.2033 errichtet werden. Die Förderung erfolgt über einen Zeitraum von 12 Jahren (Carbon Capture Coalition, 2023).

4.6.3 Bestehende Möglichkeiten in der Klimaschutzarchitektur der Schweiz

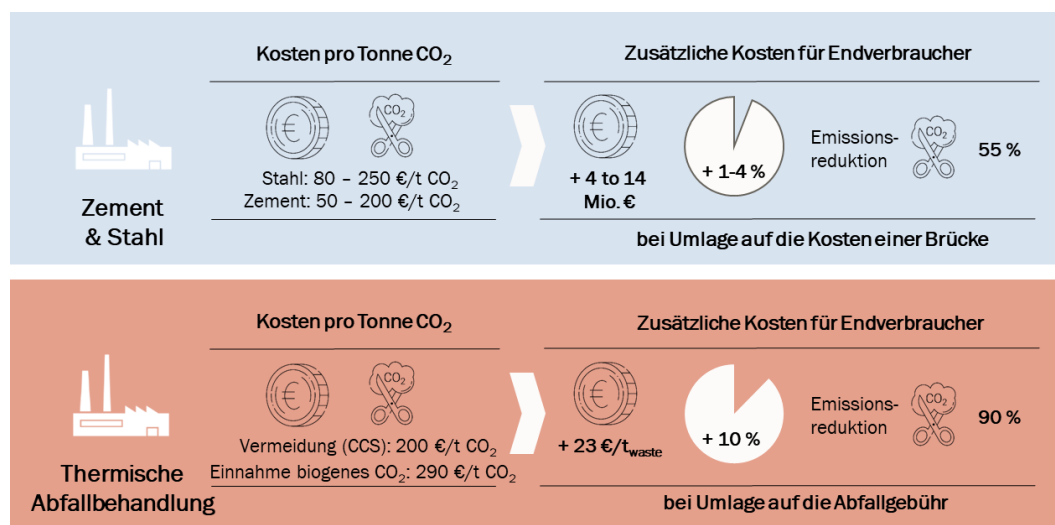
In der Klimaschutzarchitektur der Schweiz existieren diverse Förderinstrumente, die auf Basis fester Prämien funktionieren. Beispielsweise das Einspeisevergütungssystem (EVS), welches als Förderinstrument für die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien dient. Im Rahmen des EVS werden Produzenten mit einem garantierten Vergütungstarif entschädigt (BFE, 2025). Ähnlich zum EVS könnten CCS-Betreiber von festen Prämien für jede abgeschiedene Tonne CO₂ profitieren, um Risiken, die durch die variablen Preise von CO₂-Zertifikaten entstehen, mitigieren zu können sowie ggf. laufende Kosten zur Dekarbonisierung decken zu können.

4.7 Endproduktumlagen

4.7.1 Funktionsweise

In diesem Ansatz werden die Vermeidungskosten für die Anlagenbetreiber durch Vorgaben oder Abgaben auf die Endverbraucher umgelegt. Der Ansatz kann mit CCfD, dem EHS und grünen Leitmärkten kombiniert werden. Die Umlage der Kosten führt zu höheren Kosten für Verbraucher (siehe Abbildung 11). Weiterhin verringert sich der Bedarf an direkten Subventionen oder staatlicher Finanzierung der Dekarbonisierung. Grundlegend ist zu überprüfen, ob das Instrument konform ist mit dem Beihilferecht.

Abbildung 11: Auswirkungen Endverbraucherumlage



Erläuterung: Im Rahmen der Studie wurde für verschiedene Anwendungsfälle berechnet, wie sich die Umlage der Vermeidungskosten in der Grundstoffindustrie auf das Produkt auswirken. In der Abbildung ist das Beispiel einer Brücke dargestellt. Für diese wurde ermittelt, wie sich die Kosten verändern, wenn kohlenstoffarmer Stahl und Zement eingesetzt werden. Für den dargestellten Fall der thermischen Abfallbehandlung wurden in die Kostenbetrachtung die Gewinne aus dem Verkauf von biogenem CO₂ einbezogen.

Quelle: (Roussanaly, Gundersen, & Ramirez, 2024)

4.7.2 Bestehende Ansätze

In der Vergangenheit gab es entsprechende Ansätze, Kosten auf den Endverbraucher umzulegen. Ein bekanntes Beispiel im Rahmen der Energiewende ist die EEG-Umlage in Deutschland.

EEG-Umlage

Bei der EEG-Umlage wurden die Kosten für Photovoltaikanlagen und Windkraftanlagen auf die Strompreise umgelegt. Betreiber von Anlagen für erneuerbare Energien erhielten nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) eine feste Einspeisevergütung pro eingespeister Kilowattstunde (kWh). Da die Einspeisevergütung meist höher war als der Marktpreis für Strom, entstand eine Differenz zwischen den garantierten Zahlungen an die Anlagenbetreiber und den Einnahmen aus der Vermarktung des Stroms. Die EEG-Kosten wurden über die EEG-Umlage auf die Stromverbraucher umgelegt. Die EEG-Umlage war ein wichtiges Instrument zur Förderung erneuerbarer Energien in Deutschland, wurde jedoch 2022 abgeschafft aufgrund der Belastung für die Verbraucher (DIW, 2025).

4.7.3 Bestehende Möglichkeiten in der Klimaschutzarchitektur der Schweiz

Einen entsprechenden Ansatz schlägt der Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen (VBSA) zur Finanzierung von CCS an Müllverbrennungsanlagen vor. Die Kosten für CCS würden auf die Abfallgebühr (Kehrrichtsackgebühr) umgelegt werden. Dabei würde der Verband entscheiden, welche Anlagen auf CCS umgerüstet werden und diese dann nacheinander umrüsten. Die Kosten für CCS würden dann national auf die Abfallgebühr umgelegt werden. Bisher handelt es sich um einen Vorschlag.

Einordnung der Ausweitung auf SAVA und die Herausforderungen

Die Umsetzung bei thermischen Abfallbehandlungsanlagen hat den Vorteil, dass es keinen wirklichen internationalen Wettbewerb gibt und somit kein Risiko besteht, dass Betriebe ins Ausland verlagert werden (Carbon Leakage).

Für die chemisch-pharmazeutische Industrie und somit auch verlängert für SAVA-Betreibende ist eine detailliertere Bewertung erforderlich, da diese auf einem internationalen Markt agieren. Die Umlage auf die Produkte bei deren Produktion die Abfälle entstehen, würde zu einer Marktverzerrung führen, insofern die Umlage nicht auf alle entsprechenden Produkte in der Schweiz erhoben wird, auch wenn diese nicht in der Schweiz produziert werden.

Eine andere Möglichkeit wäre es die Kosten auf die Kehrrichtgebühr mit aufzuschlagen. Bei diesem Ansatz würde das Prinzip der Verursachergerechtigkeit in Frage gestellt werden, da die Verursacher die Unternehmen sind, jedoch die Verbraucher die Kosten tragen würden. In Abhängigkeit der Kommunikation und Ausgestaltung ist ein solcher Ansatz dennoch vorstellbar.

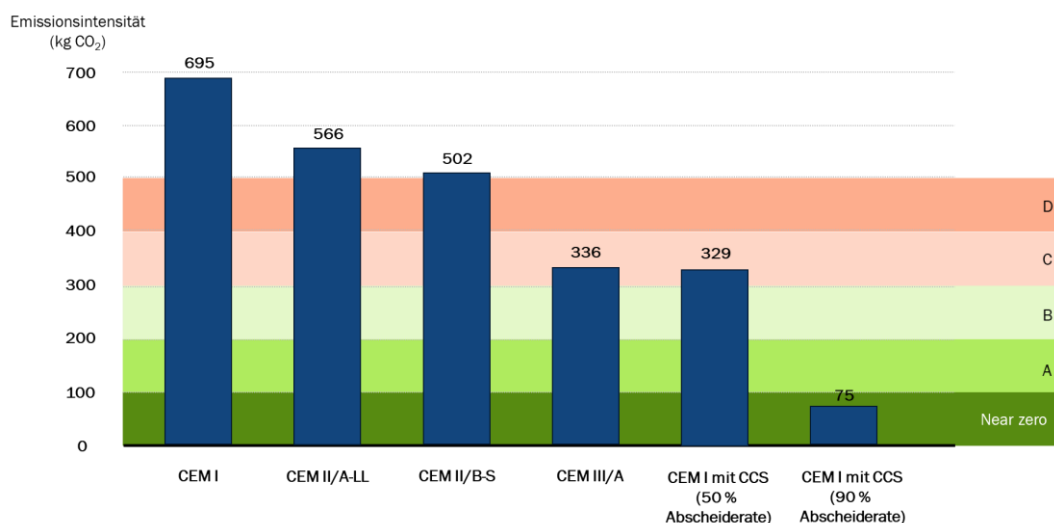
4.8 Grüne Leitmärkte

4.8.1 Funktionsweise

Grüne Leitmärkte sind ein nachfrageseitiges Instrument, das nicht darauf abzielt, von Beginn an die gesamte Wirtschaft oder eine ganze Branche zum Kauf klimafreundlicher Produkte zu bewegen. Stattdessen liegt der Fokus zunächst auf einer kleineren Zielgruppe, deren initiale Nachfrage die Entstehung eines neuen Marktes ermöglicht. Dieser kann dann infolge von Skaleneffekten und/oder einer Ausweitung des Instruments auf weitere Zielgruppen wachsen. Grüne Leitmärkte können beispielsweise geschaffen werden durch:

- die Kennzeichnung des THG-Fussabdrucks für Endverbraucher als eine erste Massnahme ohne verpflichtende Wirkung.
- die Verpflichtung von Endproduzenten zur Nutzung von Materialien aus umweltfreundlicher Produktion.
- die Verpflichtung der Regierung, Nachhaltigkeitsstandards in öffentlichen Projekten & umweltfreundlichere Optionen in Ausschreibungen aufzunehmen.

Abbildung 12: Vorgeschlagene Emissionsgrenzwerte für CO₂-armen Zement
Hintergrundpapier Konzept des grünen Leitmarkts Deutschland



Quelle: (Fraunhofer ISI; Guidehouse; Wuppertal Institut, 2024)

4.8.2 Bestehende Ansätze

Konzept für grüne Leitmärkte in Deutschland

Im Mai 2024 präsentierte das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) das Konzept «Leitmärkte für klimafreundliche Grundmaterialien» (oft als «Grüne Leitmärkte» bezeichnet). Das Konzept bietet eine Grundlage für die Etablierung grüner Leitmärkte in den Grundstoffindustrien Stahl, Zement und Chemikalien (BMWK, 2024). Aktuell ist es für Unternehmen und Verbraucher schwierig, den CO₂-Fussabdruck von Produkten entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu bestimmen. Um dieses Problem zu lösen, wurden im Rahmen der Initiative in Zusammenarbeit mit Stakeholdern Definitionen und Benchmarks entwickelt (BMWK, 2024). Die Definitionen setzen sektorspezifische Schwellenwerte für die Emissionsintensität fest, die den gesamten Produktionsprozess (Cradle-to-Gate) abdecken. Dabei werden sowohl direkte Emissionen (Scope 1) als auch indirekte Emissionen (Scope 2 und 3) berücksichtigt (siehe Abbildung 12).

Low Emission Steel Standard

Im April 2024 führte die Wirtschaftsvereinigung Stahl (WV Stahl) den «Low Emission Steel Standard» (LESS) für emissionsarmen Stahl ein. Dieses freiwillige System beinhaltet Regeln zur Berechnung und Zertifizierung von Emissionen aus warmgewalztem Stahl. Die Zertifizierung im Rahmen des LESS-Standards erfolgt durch unabhängige Stellen wie TÜV Nord oder DNV (WV Stahl, 2025).

4.8.3 Bestehende Möglichkeiten in der Klimaschutzarchitektur der Schweiz

In der Schweiz gibt es bereits Ansätze für grüne Leitmärkte. Ein bekanntes Beispiel ist die Stadt Zürich, die folgende Vorgabe hat: «Bauteile aus Beton sind gemäss Vorgabe des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich in Recycling-Beton (mindestens RC-C, wo technisch möglich RC-M) mit Zement CEM III/B zu erstellen. Ausnahmen sind von der Fachstelle Ingenieurwesen des AHB bewilligen zu lassen.» (Grieder, 2023).

Somit liegen in der Schweiz Erfahrungen mit den Ansätzen von grünen Leitmärkten vor. Auf dieser Basis könnten auch grüne Leitmärkte für ganze Industrien umgesetzt werden.

4.9 Beihilferechtliche Einordnung

4.9.1 Beihilferecht

Wann darf es Beihilfen geben?

Das Beihilferecht auf europäischer Ebene regelt, inwiefern Beihilfen zulässig sind. Dabei gibt es Beihilfen die grundsätzlich mit dem gemeinsamen Markt vereinbar sind, wie zum Beispiel bei der Beseitigung von Naturkatastrophen (Art. 107 II AEUV). Weiterhin gibt es Fälle die mit dem gemeinsamen Binnenmarkt vereinbar sein können und somit im Ermessensspielraum der europäischen Kommission liegen. Die Kommission verfolgt dabei einen wirtschaftsorientierten Ansatz und genehmigt eine Beihilfe nur, wenn ein Anreizeffekt vorliegt (Jacobsen, 2022).

Vorgang auf EU-Ebene

Die Hoheit über die Entscheidung, ob eine Beihilfe bewilligt wird, liegt bei der europäischen Kommission. Das Handeln wird dabei an Beihilfeleitlinien ausgerichtet. Zum 1. Januar 2022 sind die neuen Leitlinien für Klimaschutz, Umwelt und Energie (CEEAG) in Kraft getreten und haben die bisherigen Regelungen abgelöst (Jacobsen, 2022).

4.9.2 Einordnung untersuchter Instrumente

Investitions- und Betriebskostenförderung

Grundsätzlich werden auf europäischer Ebene Beihilfen zu Investitionskosten bevorzugt. Beihilfen zu Betriebskosten werden genehmigt, wenn die Betriebskosten die Investition in eine neue Anlage überwiegen. In der Schweiz ist mit Art 6. Klimainnovationsgesetz das Folgende geregelt: «Keine Beiträge werden ausgerichtet für Massnahmen, die bereits anderweitig eine Förderung erhalten oder in ein Instrument zur Verminderung der THG-Emissionen eingebunden sind.» Darüber sollen Doppelförderungen ausgeschlossen werden. Durch den Bestand von Betriebs- und Investitionskostenförderungen zeigt sich, dass diese mit dem Beihilferecht kompatibel sind.

Carbon Contracts for Difference

In Deutschland sowie in Dänemark wurden CCfD-basierte Förderprogramme durch die europäische Kommission zugelassen (Clean Air Task Force (CATF), 2024; BMWK, 2024). Dabei musste die deutsche Bundesregierung darlegen, warum ein CCfD besser geeignet ist für den Klimaschutz als eine reine Investitionskostenförderung. Grundsätzlich ist somit davon auszugehen, dass ein CCfD-basiertes Programm auch in der Schweiz mit dem Beihilferecht kompatibel sein kann (DIHK, 2022).

Ermässigungen bei Steuern oder steuerähnlichen Abgaben

Grundsätzlich können Ermässigungen für Unternehmen mit dem Beihilferecht kompatibel sein, solange sie nicht das Ziel der Steuer oder Abgabe unterlaufen. In Hinblick auf energieintensive Unternehmen sind somit Ermässigungen möglichen, wenn die Wettbewerbsfähigkeit nicht gewährleistet werden kann, da eine Kostenweitergabe nicht möglich ist.¹¹

Zusammenspiel verschiedener Fördermöglichkeiten

Wie bereits im KIG der Schweiz beschrieben, ist eine Doppelförderung beihilferechtswidrig. Dies bedeutet, dass keine Beihilfen ausgegeben werden dürfen für bereits geförderte Kosten. Nicht ausgeschlossen ist der Fall einer Kumulierung von Beihilfen, so dass beispielsweise ein Projekt über zwei Förderprogramme Beihilfen erhält. Dies erfolgt jedoch für unterschiedliche Teile der Kosten und führt nicht zu einer Überkompensation. Dafür sind in den Beihilferichtlinien Kumulierungsvorschriften vorgesehen. Aus diesen geht hervor, wann eine Kombination beihilferechtlich möglich ist.⁸

¹¹ Gutachten im Rahmen der Ausarbeitung der deutschen Carbon-Management-Strategie.

5 Einschätzungen der Finanzierungsinstrumente

Das Kapitel 5 konzentriert sich auf die Einschätzung der folgenden Instrumente:

- Zuschüsse zu Investitionskosten,
- Investitionsanreize durch WACC-Reduzierung,
- Zuschüsse zu Betriebskosten der Anlagen,
- Carbon Contracts for Difference (CCfD).

Grüne Leitmärkte sowie auch Endproduktumlagen sind aufgrund der Diversität der Produkte der chemisch-pharmazeutischen Industrie nur schwer quantifizierbar. Zudem unterscheidet sich ihr Potenzial von Unternehmen zu Unternehmen stark. Eine Quantifizierung dieser Instrumente war deshalb im Rahmen dieses Projektes nicht möglich.

5.1 Quantifizierung der Finanzierungslücken je nach Förderung

5.1.1 Investitionskosten-orientierte Finanzierungsinstrumente: Direkte Kapitalzuschüsse

Investoren erhalten einen einmaligen Investitionszuschuss zur Errichtung der Anlage. Über die Klimaschutz-Verordnung (KIV) vom 27.11.2024 können nach Art. 11 Massnahmen zur Speicherung von CO₂ in Produkten oder im Untergrund gefördert werden. Die Finanzhilfen betragen höchstens 50 Prozent der anrechenbaren Kosten für Investitionsbeiträge (Art. 14). Die Projektausschreibung CO₂-Entnahme und Speicherung, inkl. Sektorkopplung konkretisiert die KIV für CCU/S und die CO₂-Entnahme. Das Budget der Ausschreibung beträgt 100 Mio. CHF. Die Ausschreibung richtet sich an Pionierprojekte, Projekte, die mehrere CO₂-Punktquellen kombinieren, Projekte, die der Sektorenkopplung zuträglich sind, sowie Infrastrukturprojekte.

2030

Die nachstehende Tabelle 5 zeigt die Bandbreiten der einmaligen Förderbeträge bei 50 Prozent Investitionszuschuss, die daraus entstehende Reduktion der Vermeidungskosten CHF/t CO₂ sowie die anschliessend verbleibenden Vermeidungskosten für die jeweiligen Unternehmen je nach Kostenszenario Gering, Mittel, Hoch. Zudem wird dargestellt, wie hoch die Spannbreiten der Finanzierungslücken CHF/t CO₂ im Jahr 2030 für die Unternehmen je nach Kostenszenario sein würden, wenn ein «hoher» EHS-Preis von 210 CHF für das Jahr 2030 unterstellt wird. Die daraus resultierenden Finanzierungslücken stellen damit Untergrenzen dar. Niedrigere CO₂-Preise im Jahr 2030 haben somit höhere Defizite zur Folge.

Je nach Kostenszenario Gering, Mittel, Hoch würden die Unternehmen bei einem einmaligen Investitionszuschuss von 50 Prozent, Fördermittel von 16 Mio. bis 45 Mio. CHF beantragen können. Die Vermeidungskosten würden sich bei der Bandbreite Gering um 47 bis 66 CHF/t CO₂ verringern. Bei der Kostenbandbreite Hoch wären dies zwischen 70 und 99 CHF/t CO₂. Trotz dieser Förderung verbleiben dadurch im Kostenszenario Gering Vermeidungskosten je nach Unternehmen von 325 bis 357 CHF/t CO₂. Es zeigt sich, dass selbst im Fall eines Kostenszenarios Gering und einem «hohen» EHS-Preis, eine Finanzierungslücke von mindestens 115 bis 147 CHF/t CO₂ auftritt. In allen anderen Kostenszenarien oder tieferen CO₂-Preisen wären die Defizite noch höher.

Tabelle 5: Investitionskostenzuschüsse, einmalig 50%, 2030 (CAPEX-Faktor 1)

	Gering	Mittel	Hoch
Förderhöhe (Mio. CHF im Jahr 2030)	16-30	20-38	24-45
Reduktion der Vermeidungskosten (CHF/t CO ₂)	47-66	58-82	70-99
Verbleibende Vermeidungskosten (CHF/t CO ₂)	325-357	370-414	475-531
Annahme hoher EHS-Preis (CHF im Jahr 2030)	210	210	210
Finanzierungslücke	115-147	160-204	265-321

Quelle: BAK und dena

Investitionskosten – CAPEX-Faktor 1,5

Wird für die Investitionskosten ein Faktor von 1,5 angesetzt, ergibt sich eine Finanzierungslücke je nach SAVA von 154 bis 190 CHF/t CO₂ im Szenario Gering, 206 bis 256 CHF/t CO₂ im Szenario Mittel und 318 bis 381 CHF/t CO₂ im Szenario Hoch.

2050

In Jahr 2050 würde es bei einer einmaligen Investitionsförderung von 50 Prozent und einem «mittleren» EHS-Preis von 300 CHF/t CO₂ in keinem der drei Kostenszenarien eine Finanzierungslücke geben (vgl. Tab. 6). Bei einem «niedrigen» EHS-Preis von 200 CHF/t CO₂ käme es im Szenario Mittel und Hoch zu Defiziten von maximal 31 bzw. 69 CHF/t CO₂.

Tabelle 6: Investitionskostenzuschüsse, einmalig 50%, 2050 (CAPEX-Faktor 1)

	Gering	Mittel	Hoch
Förderhöhe (CHF im Jahr 2030)	14-25	17-31	20-38
Reduktion der Vermeidungskosten (CHF/t CO ₂)	32-46	41-59	49-70
Verbleibende Vermeidungskosten (CHF/t CO ₂)	132-169	191-232	225-269
Annahme hoher EHS-Preis (CHF im Jahr 2030)	300	300	300
Finanzierungslücke	(-)168-(-)131	(-)109-(-)69	(-)75-(-)31

Quelle: BAK und dena

Investitionskosten – CAPEX-Faktor 1,5

Wird für die Investitionskosten ein Faktor von 1,5 angesetzt, würden ebenfalls bei einem EHS-Preis von 300 CHF keine Defizite auftreten. Bei einem EHS-Preis von 200 CHF/t CO₂ verbleiben Finanzierungslücken im Kostenszenario Mittel und Hoch von 23 bis 68 CHF/t CO₂ bzw. 62 bis 111 CHF/t CO₂.

5.1.2 Indirekte Investitionskosten-fokussierte Förderungen einer CCS-Anlage (WACC-Reduktion)

Beispiele für eine indirekte Investitionskosten-fokussierte Förderung sind beispielsweise Steuererleichterungen oder beschleunigte Abschreibungen. Um die Effekte solcher Massnahmen zu quantifizieren, wurde das Beispiel einer staatlichen Bürgschaft gewählt. Die Unternehmen könnten sich dann zu einem geringeren Zinssatz verschulden bzw. der angenommene WACC-Zinssatz würde sich reduzieren. Dies hat zur Folge, dass sich die Investitionskosten der Anlage (ähnlich wie bei beschleunigten Abschreibungen oder Steuererleichterung) reduzieren.

2030

Die nachfolgende Tabelle 7 präsentiert die Effekte auf die Vermeidungskosten und mögliche Finanzierungslücken. Es wird eine Abnahme des WACC-Zinssatzes von 8 auf 3 Prozent unterstellt. In einem Szenario von «geringen» Kosten und einem CAPEX-Faktor 1 würde sich eine Verringerung der Vermeidungskosten von 36 bis 51 CHF/t CO₂ je nach Unternehmen ergeben. Die verbleibenden Vermeidungskosten liegen dann aber immer noch bei 338 bis 371 CHF/t CO₂. Nimmt man an, dass die Unternehmen pro Tonne CO₂, die durch die Abscheidungsanlage vermieden wurden, keine Zertifikate erwerben müssen, würden diese immer noch eine Finanzierungslücke von 128 bis 161 CHF/t CO₂ zu tragen haben. In allen anderen Szenarien wäre die Finanzierungslücke und damit die Belastung der Unternehmen höher.

Tabelle 7: Investitionskosten-Förderung, WACC auf 3%, 2050 (CAPEX-Faktor 1)

	Gering	Mittel	Hoch
Reduktion der Vermeidungskosten (CHF/t CO ₂)	36-51	45-63	54-77
Verbleibende Vermeidungskosten (CHF/t CO ₂)	338-371	386-433	494-553
Annahme hoher EHS-Preis (CHF im Jahr 2030)	210	210	210
Finanzierungslücke	128-161	176-223	284-343

Quelle: BAK und dena

Investitionskosten – CAPEX-Faktor 1,5

Wird für die Investitionskosten ein Faktor von 1,5 angesetzt, ergibt sich ein Finanzierungsdefizit je nach SAVA von 173 bis 213 CHF/t CO₂ im Kostenszenario Gering, 230 bis 284 CHF/t CO₂ im Szenario Mittel und 346 bis 415 CHF/t CO₂ im Szenario Hoch.

2050

In Jahr 2050 gäbe es bei Einbezug der SAVA in den EHS und einem EHS-Preis von 300 CHF/t CO₂ in keinem Kostenszenario Finanzierungslücken. Bei einem EHS-Preis von 200 CHF/t CO₂ entstünden bei den Unternehmen weiterhin ungedeckte Kosten in den Szenarien Mittel und Hoch (vgl. Tab. 8).

Tabelle 8: Investitionskosten-Förderung, WACC auf 3%, 2030, (CAPEX-Faktor 1)

	Gering	Mittel	Hoch
Reduktion der Vermeidungskosten (CHF/t CO ₂)	25-36	32-45	38-54
Verbleibende Vermeidungskosten (CHF/t CO ₂)	141-179	202-245	238-285
Annahme hoher EHS-Preis (CHF im Jahr 2030)	300	300	300
Finanzierungslücke	(-)159–(-)121	(-)98–(-)55	(-)62–(-)15

Quelle: BAK und dena

Investitionskosten – CAPEX-Faktor 1,5

Wird hier für die Investitionskosten ein Faktor von 1,5 angesetzt, ergibt sich eine Finanzierungslücke im Kostenszenario Hoch von 3 bis 35 CHF/t CO₂. Bei einem EHS-Preis von 200 CHF liegen die Defizite bei 39 bis 88 CHF/t CO₂ (Mittel) und 81 bis 135 CHF/t CO₂ (Hoch).

5.1.3 Betriebskosten-orientierte Finanzierungsinstrumente: Betriebskostenzuschüsse

Gemäss der Klimaschutz-Verordnung (KIV) vom 27.11.2024 können jährliche Betriebsbeiträge von höchstens 50 Prozent der anrechenbaren Betriebskosten beantragt werden, welche die konventionelle Technik übersteigen (Art. 14). Die folgende Tabelle zeigt, wie sich eine Förderung von 50 Prozent der Betriebskosten im Jahr 2030 auf die Vermeidungskosten und die Finanzierungslücke je nach Kostenszenario und Unternehmen bei einem CAPEX-Faktor von 1 auswirken könnte.

Eine Förderung von 50 Prozent der Betriebsbeiträge würde jährlich eine Förderung je nach SAVA und Kostenszenario zwischen 0,8 Mio. und max. 2,8 Mio. CHF bedeuten. Nimmt man einen Förderzeitraum von 10 Jahren an, bewegten sich die benötigten Fördermittel zwischen 8 und 28 Mio. CHF. Die Vermeidungskosten reduzieren sich demzufolge beim Kostenszenario Gering zwischen 26 und 37 CHF/t CO₂ je nach SAVA. Die verbleibenden Vermeidungskosten belaufen sich dann auf 348 bis 387 CHF/t CO₂. Bei einem «hohen» EHS-Preis von 210 CHF/t CO₂ würde sich immer noch eine Finanzierungslücke von 138 bis 177 CHF/t CO₂ ergeben, die damit höher als bei einer einmaligen Investitionskosten-Förderung von 50 Prozent ist. In allen anderen Szenarien wären die Finanzierungslücken noch ausgeprägter.

Tabelle 9: Betriebskosten-Förderung, Betriebskostenzuschüsse, 2030, (CAPEX-Faktor 1)

	Gering	Mittel	Hoch
Förderhöhe (Mio. CHF im Jahr 2030)	0,8-2,2	1,0-2,5	1,0-2,8
Reduktion der Vermeidungskosten (CHF/t CO ₂)	26-37	26-42	27-47
Verbleibende Vermeidungskosten (CHF/t CO ₂)	348-387	406-455	525-583
Annahme hoher EHS-Preis (CHF im Jahr 2030)	210	210	210
Finanzierungslücke	138-177	196-245	315-373

Quelle: BAK und dena

Investitionskosten – CAPEX-Faktor 1,5

Wird für die Investitionskosten ein Faktor von 1,5 angesetzt, ergibt sich eine Finanzierungslücke je nach SAVA von 190 bis 248 CHF/t CO₂ im Szenario Gering, 260 bis 333 CHF/t CO₂ im Szenario Mittel und 390 bis 477 CHF/t CO₂ im Szenario Hoch.

2050

In Jahr 2050 würde bei einer Förderung von 50 Prozent der laufenden Betriebskosten und einem EHS-Preis von 300 nahezu in allen Fällen die Kostenlücke geschlossen werden, wie dies aus Tabelle 10 hervorgeht. Bei einem um 100 CHF tieferen EHS-Preis treten im Kostenszenario Mittel und Hoch Defizite auf.

Tabelle 10: Betriebskosten-Förderung, Betriebskostenzuschüsse, 2050, (CAPEX-Faktor 1)

	Gering	Mittel	Hoch
Förderhöhe (CHF im Jahr 2030)	0,7-2,2	0,7-2,3	0,8-2,4
Reduktion der Vermeidungskosten (CHF/t CO ₂)	16-32	16-33	17-34
Verbleibende Vermeidungskosten (CHF/t CO ₂)	155-185	223-258	264-306
Annahme hoher EHS-Preis (CHF im Jahr 2030)	300	300	300
Finanzierungslücke	(-)145-(-)115	(-)77-(-)42	(-)36-6

Quelle: BAK und dena

Investitionskosten – CAPEX-Faktor 1,5

Wird hier für die Investitionskosten ein Faktor von 1,5 angesetzt, ergeben sich nach Förderung bei einem EHS-Preis von 300 CHF/t CO₂ Defizite in einer Bandbreite von 16 bis 79 CHF/t CO₂ im Kostenszenario Hoch.

5.1.4 Betriebskosten-orientierte Förderinstrumente: CCfD

Im Gegensatz zu Zuschüssen zu den Betriebskosten gleicht die variable Prämie die Differenz zwischen einem vereinbarten Vertragspreis und dem CO₂-Marktpreis aus, meist in Form von CCfD. Liegt der Vertragspreis über dem Marktpreis, erhält das Unternehmen eine staatliche Förderung. Überschreitet der Marktpreis den zur Schließung der Finanzierungslücke benötigten Wert, leistet das Unternehmen eine Ausgleichszahlung an den Staat.

2030

Bei einer Förderung mit einem CCfD-Ansatz würden bei geringen Kosten jährlich zwischen 6 bis 14 Mio. CHF je nach SAVA anfallen. Bei hohen Kosten lägen diese bei 13 bis 27 Mio. CHF pro Jahr. Die Höhe der notwendigen Fördermittel über die Zeit seitens des Staates ist aus verschiedenen Gründen schwierig zu beurteilen, da die tatsächlich benötigte Summe abhängig ist von der genauen Vertragsausgestaltung sowie der Entwicklung der Energie- und EHS-Preise. Im Jahr 2030 würde der Deckungsbeitrag seitens des Staates bei einem EHS-Preis von 210 CHF bei 171 bis 212 CHF/t CO₂ (Kosten Gering), bei 229 bis 286 CHF/t CO₂ (Kosten Mittel) und bei 348 bis 420 CHF/t CO₂ (Kosten Hoch) liegen. Für die Unternehmen würden allerdings keine Finanzierungslücken entstehen, da die über der CO₂-Bepreisung liegenden Mehrkosten von CCS gedeckt werden würden (Tab. 11).

Tabelle 11: Förderung CCfD, 2030 (CAPEX-Faktor 1)

	Gering	Mittel	Hoch
Förderhöhe (CHF im Jahr 2030)	6-14	9-19	13-27
Vermeidungskosten (CHF/t CO ₂)	381-422	439-496	558-630
Deckungsbeitrag (CHF/t CO ₂)	171-212	229-286	348-420
Annahme hoher EHS-Preis (CHF im Jahr 2030)	210	210	210
Finanzierungslücke	0	0	0

Quelle: BAK und dena

Investitionskosten – CAPEX-Faktor 1,5

Wird für die Investitionskosten ein Faktor von 1,5 angesetzt, ergibt sich ein Deckungsbeitrag des Staates je nach SAVA von 231 bis 289 CHF/t CO₂ im Szenario Gering, 307 bis 379 CHF/t CO₂ im Szenario Mittel und 442 bis 529 CHF/t CO₂ im Szenario Hoch.

2050

Im Jahr 2050 wären bei einem EHS-Preis von 300 CHF keine Förderungen mehr notwendig. Bei einem EHS-Preis von 200 CHF wären im Kostenszenario Mittel und Hoch Deckungsbeiträge zu zahlen.

Tabelle 12: Förderung CCfD, 2050 (CAPEX-Faktor 1)

	Gering	Mittel	Hoch
Förderhöhe (CHF im Jahr 2030)	(-)9-(-)6	(-)4-(-)1	(-)1-3
Vermeidungskosten (CHF/t CO ₂)	171-215	239-290	283-339
Deckungsbeitrag (CHF/t CO ₂)	(-)129-(-)85	(-)61-(-)10	(-)17-39
Annahme hoher EHS-Preis (CHF im Jahr 2030)	300	300	300
Finanzierungslücke	0	0	0

Quelle: BAK und dena

Investitionskosten – CAPEX-Faktor 1,5

Wird für die Investitionskosten ein Faktor von 1,5 angesetzt, ergibt sich ein Deckungsbeitrag des Staates bei einem EHS-Preis von 300 CHF je nach SAVA von -4 bis 55 CHF/t CO₂ im Szenario Mittel und 49 bis 116 CHF/t CO₂ im Szenario Hoch.

5.1.5 Kombination der Finanzierungsinstrumente: Investitions- und Betriebsbeiträge

Gemäss KIV (Art. 14) können Investitionsbeiträge durch Betriebsbeiträge ergänzt werden, um den Unternehmen zu helfen, wiederkehrende Betriebskosten zu tragen. Investitions- und Betriebsbeiträge sind je nach Bedarf kombinierbar (BAFU, 2024).

2030

Tabelle 13 illustriert die Ergebnisse für das Jahr 2030, wenn sowohl einmalig 50 Prozent der Investitionskosten als auch 50 Prozent der laufenden Betriebskosten gefördert würden. Die Vermeidungskosten würden sich dadurch deutlich reduzieren. Aber auch im Kostenszenario Gering würden noch Finanzierungslücken von 90 bis 111 CHF/t CO₂ bei den Unternehmen verbleiben.

Tabelle 13: Kombination von einmaliger Investitionsförderung und Betriebskosten (jeweils 50%), 2030 (CAPEX-Faktor 1)

	Gering	Mittel	Hoch
Reduktion der Vermeidungskosten (CHF/t CO ₂)	81-101	95-124	110-146
Verbleibende Vermeidungskosten (CHF/t CO ₂)	300-321	344-373	449-485
Annahme hoher EHS-Preis (CHF im Jahr 2030)	210	210	210
Finanzierungslücke	90-111	134-163	239-275

Quelle: BAK und dena

2050

Im Jahr 2050 würden sich, ähnlich wie in den bereits dargelegten Förderinstrumenten, je nach EHS-Preis die Finanzierungslücken schliessen bzw. sich kleinere Defizite ergeben.

5.2 Bewertung der Förderinstrumente

Die vorgestellten Einzelmassnahmen werden in diesem Kapitel evaluiert. Die Abbildung 13 stellt die Bewertungskriterien vor anhand derer die Massnahmen bewertet werden. Anschliessend werden die Ergebnisse dargestellt und erläutert.

Die Bewertung erfolgt mittels der folgenden fünf Kriterien:

- a. **Effektivität:** Das Kriterium der Effektivität der Fördermassnahme bewertet, ob die Förderung effektiv zum (vollständigen) Schliessen der Finanzierungslücke bei den Unternehmen beiträgt.
- b. **Vollzugskosten:** Das Kriterium Vollzugskosten bewertet mit welchem administrativen Aufwand seitens der Unternehmen (und des Staates) die Förderung einhergeht.
- c. **Wettbewerb:** Das Kriterium Wettbewerb bewertet, inwieweit die jeweilige Förderung die Wettbewerbsposition der Unternehmen in der Schweiz bzw. in der EU erhalten bzw. verschlechtern würde.
- d. **EU-Kompatibilität:** Dieses Bewertungskriterium beurteilt, ob die Fördermassnahme mit den bestehenden oder geplanten Massnahmen in der EU vereinbar sind oder nicht.
- e. **CH-Kompatibilität:** Dieses Bewertungskriterium beurteilt, wie wahrscheinlich es ist, dass dieses Förderinstrument in der Schweiz eingeführt wird.

Für die Bewertung der Finanzierungsinstrumente werden vier Stufen verwendet (-2, -1, +1, +2).

Abbildung 13: Bewertungskriterien der Förderinstrumente

Bewertungskriterium		Bewertung
Effektivität	Wie stark wird die Finanzierungslücke geschlossen?	-2 -1 1 2
Vollzugskosten	Ist die Förderung mit einfachen/geringen Aufwand möglich?	-2 -1 1 2
Wettbewerb	Welche Wirkung hat das Fördermittel auf die Wettbewerbsposition?	-2 -1 1 2
EU-Kompatibilität	Ist die Fördermassnahme mit denjenigen der EU kompatibel?	-2 -1 1 2
CH-Kompatibilität	Ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass dieses Förderinstrument in der Schweiz eingeführt wird?	-2 -1 1 2

Quelle: Eigene Darstellung von BAK und dena

5.2.1 Einmalige Investitionszuschüsse für CCS-Anlagen

Abbildung 14 fasst die Bewertung des Instruments der einmaligen Kapitalzuschüsse für die Errichtung einer CCS-Anlage jeweils für die Jahre 2030 und 2050 zusammen.

Abbildung 14: Bewertung Investitionskostenzuschüsse für CCS, 2030/50

Bewertungskriterium		Bewertung	
		2030	2050
Effektivität	2030: Förderung nicht ausreichend, um Finanzierungslücke zu schliessen 2050: Förderung voraussichtlich effektiv bei Einbezug der SAVA in EHS	-1	1
Vollzugskosten	2030/2050: Vollzugskosten relativ hoch	-1	-1
Wettbewerb	2030: Förderung nicht ausreichend, um Wettbewerbsposition zu erhalten 2050: Förderung reicht voraussichtlich aus, um Wettbewerbsposition zu erhalten	-1	1
EU-Kompatibilität	2030/2050: Beihilfen zu Investitionskosten bevorzugtes Förderinstrument EU	2	2
CH-Kompatibilität	2030: Förderung von CCS durch Investitionsbeiträge (KIV) 2050: Verlängerung bestehender Gesetzgebung/Ausschüttung EHS möglich	2	2

Quelle: Eigene Darstellung von BAK und dena

Effektivität:

2030: Die Förderung einer CCS-Abscheidungsanlage durch einen einmaligen Investitionszuschuss bei Errichtung der Anlage ist im Jahr 2030 nur bedingt effektiv. Zwar ist der einmalige Investitionszuschuss gut wirksam, da er die Anlagekosten über die ganze Zeit reduziert und die staatliche Subvention damit erfolgreich die Investitionskosten für die Unternehmen reduziert. Allerdings reicht die Förderung in den geprüften Szenarien nicht aus, um die hohen Kosten von CCS ausreichend zu decken. Selbst in einem Szenario für die SAVA (niedrige Kosten, CAPEX-Faktor 1, hoher EHS-Preis und Investitionsbeiträge auf 50 Prozent gemäss KIV) bleibt nach Abzug der Vermeidung des EHS bei allen SAVA dennoch eine signifikante Finanzierungslücke bestehen. Dies liegt unter anderem daran, dass vor allem im Jahr 2030 noch hohe Kosten für Transport und Speicherung anfallen, die bei diesem Instrument unberücksichtigt bleiben.

2050: Bis zum Jahr 2050 reduzieren sich aufgrund von Lerneffekten und der zunehmenden Verfügbarkeit von Transportinfrastrukturen und Speichermöglichkeiten (insbesondere auch durch die bis dahin vermutlich mögliche inländische Speicherung in der Schweiz) die Vermeidungskosten pro Tonne CO₂ deutlich. Einmalige Investitionskosten-Zuschüsse würden dann bei Kosten Mittel und dem Einbezug der SAVA in den Zertifikatehandel mit einem «mittleren» EHS-Preis von 300 CHF/t CO₂ («realistisches Szenario») effektiv wirken und die Finanzierungslücke schliessen.

Vollzugskosten:

2030/50: Investitionsbeiträge im Rahmen der Klimaschutz-Verordnung sind sowohl im Jahr 2030 wie auch im Jahr 2050 mit einem nicht unwesentlichen bürokratischen Aufwand verbunden. Es würden einmalige Aufwendungen bei den Unternehmen durch die Teilnahme eines Ausschreibungsverfahrens notwendig sein. Zudem würden regelmässig Bürokratiekosten anfallen, da die Unternehmen bei Förderungen durch Investitionsbeiträge zu einem Fahrplan gemäss Art. 5 KIG verpflichtet sind. Dieser Plan muss regelmässig aktualisiert werden und im Rahmen der Aktualisierung müssen die Massnahmen evaluiert werden.

Wettbewerb:

2030: Da im Jahr 2030 feste Investitionszuschüsse von 50 Prozent die Finanzierungslücken der SAVA selbst bei Einbezug in den EHS in keinem der Szenarien schliessen würden, ergäben sich bei den SAVA erhebliche Zusatzkosten durch CCS. Da die meisten SAVA in einem starken Kostenwettbewerb stehen und ihre zusätzlichen Kosten kaum auf ihre Kunden überwälzen können, würde dieses Förderinstrument nicht ausreichen, um die derzeitige Wettbewerbsposition in der EU zu erhalten.

2050: Im Jahr 2050 wäre ein fester Investitionszuschuss bei Einbezug der SAVA in den EHS und einem Szenario mit Vermeidungskosten (Kostenszenario Mittel) und «mittleren» EHS-Preis pro Tonne CO₂ ausreichend, um die Wettbewerbsposition der SAVA im EU-Raum nicht zu verschlechtern.

EU-Kompatibilität:

2030/2050: Grundsätzlich sind auf europäischer Ebene Beihilfen zu Investitionskosten ein bevorzugtes Förderinstrument, weshalb diese für die Untersuchungszeitpunkte 2030 und 2050 als kompatibel mit den EU-Förderinstrumenten und Beihilferecht einzustufen sind (siehe dazu Kap. 4.9.2).

CH-Kompatibilität:

2030: Da es bereits eine gesetzliche Grundlage für die Förderung von Investitionsbeiträgen von 50 Prozent für Projekte zur Abscheidung von CO₂ in der Schweiz gibt (KIV, Art. 14 vom 27. Nov. 2024), ist die Kompatibilität mit dem Schweizer Recht gegeben.

2050: Die Förderung im Rahmen des KIV besteht allerdings nur für Projektanträge bis 2030. Die Förderungen im Rahmen des KIV werden aus Bundesmitteln finanziert und sind deshalb nicht «verursachergerecht». Um Förderungen im Jahr 2050 zu gewährleisten, müsste die KIV verlängert werden. Eine Förderung 2050 wäre aber auch über Ausschüttungen aus dem EHS-Fond möglich. Diese Finanzierungsart wäre zudem verursachergerecht. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass Investitionszuschüsse auch im Jahr 2050, Bestandteil des Schweizer Förderrahmens sein könnten (falls noch grössere Unterschiede zwischen Vermeidungskosten und EHS-Preisen bestehen).

5.2.2 Indirekte Investitionskosten-orientierte Förderungen für CCS-Anlagen

Abbildung 15 veranschaulicht die Bewertung von indirekt orientierten Investitionskosten-Förderungen jeweils für die Jahre 2030 und 2050.

Abbildung 15: Bewertung indirekte Investitionskosten-orientierte Förderungen CCS, 2030/50

Bewertungskriterium		Bewertung	
		2030	2050
Effektivität	2030: Förderung gar nicht ausreichend, um Finanzierungslücke zu schliessen 2050: Förderung voraussichtlich effektiv bei Einbezug der SAVA in EHS	-2	1
Vollzugskosten	2030/2050: Vollzugskosten gering	1	1
Wettbewerb	2030: Förderung gar nicht ausreichend, um Wettbewerbsposition zu erhalten 2050: Förderung reicht voraussichtlich aus, um Wettbewerbsposition zu erhalten	-2	1
EU-Kompatibilität	2030/2050: Beihilfen sind möglich, wenn Unternehmen nicht wettbewerbsfähig	2	1
CH-Kompatibilität	2030/50: Einführung nicht wahrscheinlich	-1	-1

Quelle: Eigene Darstellung von BAK und dena

Effektivität:

2030: Die Effekte der indirekten Instrumente zur Investitionsförderung wie z.B. Bürgschaften, Steuererleichterungen oder beschleunigte Abschreiben können am Beispiel der Reduktion des WACC von 8 auf 3 Prozent gezeigt werden. Diese indirekten Investitionsförderungen können die Finanzierungslücken nicht schliessen. Zwar sind solche Instrumente eine gute Förderung, um die Investitionskosten zu senken. Allerdings adressieren sie nicht die anderen substanziellen Kostenkomponenten wie Transport und Speicherung.

2050: Aufgrund der gesunkenen Vermeidungskosten pro Tonne CO₂ ist davon auszugehen, dass indirekte Investitionsförderungsinstrumente 2050 unter der Annahme des Einbezugs der SAVA in den EHS und bei einem «mittleren» CO₂-Preis effektiv sind.

Vollzugskosten:

2030/2050: Die Vollzugskosten sind bei indirekten Investitionsförderinstrumenten relativ gering und mit keinem grösseren Bürokratieaufwand verbunden sind. Die Regelungen sind meist klar und transparent.

Wettbewerb:

2030: Diese Förderinstrumente können im Jahr 2030 aufgrund der hohen Vermeidungskosten pro Tonne CO₂ die Finanzierungslücken nur bedingt schliessen. Sie verhindern damit zwar eine starke Verschlechterung der Wettbewerbssituation, sind aber nicht ausreichend.

2050: Diese Förderansätze könnten dazu beitragen, die Finanzierungslücken 2050 zu schliessen. Die SAVA könnten dann auch bei Einsatz von CCS im europäischen Wettbewerb überwiegend bestehen.

EU-Kompatibilität:

2030/2050: Ermässigungen für Unternehmen können beihilferechtlich zulässig sein, sofern sie das Ziel der Steuer oder Abgabe nicht unterlaufen und Unternehmen nicht in ihrer Wettbewerbsfähigkeit gefährdet sind. Eine Kompatibilität mit der EU ist für 2030 gegeben und könnte in wettbewerbsintensiven Branchen auch noch 2050 bestehen.

CH-Kompatibilität:

2030/2050: Steuerliche Anreize bzw. beschleunigte Abschreibungen sind in der Schweiz nur als Ausnahme gemäss Subventionsgesetz (Art. 7, Bst.g.SuG) möglich. Bürgschaften finden bisher vor allem als Unterstützungsmittel für kleinere und mittlere Unternehmen Anwendung. Diese Fördermittel erfordern zunächst vom Staat keine direkten Finanzmittel, allerdings ist diese Art der Finanzierung nicht verursachergerecht. Insgesamt ist davon auszugehen, dass diese Art der Förderung in der Schweiz nicht das bevorzugte Finanzierungsinstrument zur Förderung von CCS bei den SAVA ist.

5.2.3 Betriebskosten-Zuschüsse (für CCS-Anlagen)

Abbildung 16 bildet die Bewertung der jährliche Betriebskostenzuschüsse für den Betrieb einer CCS-Anlage jeweils für die Jahre 2030 und 2050 ab.

Abbildung 16: Bewertung Betriebskostenzuschüsse für CCS, 2030/50

Bewertungskriterium		Bewertung	
		2030	2050
Effektivität	2030: Förderung gar nicht ausreichend, um Finanzierungslücke zu schliessen 2050: Förderung voraussichtlich effektiv bei Einbezug der SAVA in EHS	-2	1
Vollzugskosten	2030/2050: Vollzugskosten relativ hoch	-1	-1
Wettbewerb	2030: Förderung gar nicht ausreichend, um Wettbewerbsposition zu erhalten 2050: Förderung reicht voraussichtlich aus, um Wettbewerbsposition zu erhalten	-2	1
EU-Kompatibilität	2030/2050: Beiträge zu Betriebskosten mit Regelungen der EU kompatibel	2	2
CH-Kompatibilität	2030: Förderung von CCS durch Betriebsbeiträge (KIV) 2050: Verlängerung bestehender Gesetzgebung/Ausschüttung EHS möglich	2	2

Quelle: Eigene Darstellung von BAK und dena

Effektivität:

2030: Zuschüsse zu den Betriebskosten sind weniger effektiv als die Investitionskosten-Förderung und daher ebenfalls nicht ausreichend, um die Finanzierungslücken zu schliessen. Auch im Kostenszenario Niedrig und einem «hohen» EHS-Preis von 210 CHF/t CO₂ würden die Finanzierungslücken von 348 bis 386 CHF/t CO₂ reichen. Die Diskrepanz zwischen Investitionskosten- und Betriebskosten-Förderung in Bezug auf die Finanzierungslücken ist auf die deutlich höheren Investitionskosten zurückzuführen, wodurch Investitionszuschüsse effektiver sind. Zudem sind die Kosten für Transport und Speicher im Jahr 2030 hoch. Dies trägt zusätzlich dazu bei, dass Beiträge zu den jährlichen Betriebskosten einer Abscheidungsanlage ineffektiv sind, um die Finanzierungslücken im Jahr 2030 zu schliessen.

2050: Bis zum Jahr 2050 reduzieren sich die Vermeidungskosten pro Tonne CO₂ merklich. Allerdings sinken die Betriebskosten für die Abscheidungsanlagen im Vergleich zu den anderen Kostenkomponenten weniger stark. Die Effektivität der Betriebskostenzuschüsse nimmt daher nicht sehr stark zu. Nichtsdestotrotz ist davon auszugehen, dass jährliche Betriebskostenzuschüsse in einem Kostenszenario Mittel und dem Einbezug der SAVA in den Zertifikatehandel mit einem «mittleren» EHS-Preis von 300 CHF/t CO₂ effektiv wirken und die Finanzierungslücken schliessen.

Vollzugskosten:

2030/2050: Die Vollzugskosten wären sowohl 2030 wie auch 2050 relativ hoch. Die Gründe dafür sind die gleichen wie bei den einmaligen Investitionsbeiträgen (siehe 5.1.1). Es würden wegen des Ausschreibungsverfahrens einmalige Aufwendungen und aufgrund des notwendigen Monitorings regelmässige Aufwendungen bei den Unternehmen anfallen.

Wettbewerb:

2030: Da die jährlichen Betriebsbeiträge im Jahr 2030 die Finanzierungslücke nicht annähernd schliessen, würde sich bei der ausschliesslichen Förderung mit Zuschüssen zu den Betriebskosten der Abscheidungsanlagen die Wettbewerbsposition der Unternehmen verschlechtern.

2050: Im Jahr 2050 ist davon auszugehen, dass eine Betriebskosten-Förderung zu einer weitgehenden Schliessung der Finanzierungslücke bei Einbezug der SAVA in den EHS führen würde und sich daher die Position der SAVA im europäischen Wettbewerb nicht verschlechtern würde.

EU-Kompatibilität:

2030/2050: Beihilfen zu Betriebskosten werden genehmigt, wenn die Betriebskosten die Investition in eine neue Anlage überwiegen. Die KIV Art. 14 regelt, dass Betriebsbeiträge möglich sind für «jährliche Betriebskosten, welche die Betriebskosten für die konventionelle Technik übersteigen.» Die EU-Kompatibilität hängt von der konkreten Ausgestaltung der Förderung ab und müsste in den Einzelfällen geprüft werden.

CH-Kompatibilität:

2030: Da es bereits eine gesetzliche Grundlage für die Förderung von Betriebsbeiträgen von 50 Prozent für Projekte zur Abscheidung von CO₂ in der Schweiz gibt (KIV, Art. 14 vom 27. Nov. 2024), ist die Kompatibilität mit dem Schweizer Recht gegeben.

2050: Die Förderung im Rahmen des KIV besteht allerdings nur für Projektanträge bis 2030. Die Förderungen im Rahmen des KIV werden aus Bundesmitteln finanziert und sind deshalb nicht «verursachergerecht». Um Förderungen im Jahr 2050 zu gewährleisten, müsste die KIV verlängert werden. Eine Förderung 2050 wäre aber auch möglich über Ausschüttungen aus dem EHS-Fond. Diese Finanzierungsart wäre zudem verursachergerecht. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass Betriebskostenzuschüsse auch im Jahr 2050 Bestandteil des Schweizer Förderrahmens sein könnten (falls noch substantielle Unterschiede zwischen EHS-Preisen und Vermeidungskosten bestehen).

5.2.4 Variable Betriebsbeiträge – Carbon Contracts for Difference

Abbildung 17 illustriert die Bewertung des Instruments der Carbon Contracts for Difference (CCfD) jeweils für die Jahre 2030 und 2050 zusammen.

Abbildung 17: Bewertung von Carbon Contracts for Difference für CCS, 2030/50

Bewertungskriterium		Bewertung	
		2030	2050
Effektivität	2030/50: Das Förderinstrument ist ausreichend um Finanzierungslücke zu schliessen Automatische Anpassung minimiert die Preis-/Erlösriskien der Emittenten	2	
			2
Vollzugskosten	2030/2050: Komplexes System mit hohem administrativem Aufwand	-2	-2
Wettbewerb	2030/50: Wettbewerbsfähigkeit der SAVAs in der Schweiz bleibt erhalten	2	
			2
EU-Kompatibilität	2030/2050: CCfD-Ansätze bereits in der EU für bestimmte Ländern genehmigt	2	
			2
CH-Kompatibilität	2030: Relativ hohe Förderbeträge; bisher keine CCfD in der Schweiz 2050: Geringere Förderbeträge, CCfD andere Länder, Einführung wahrscheinlicher	-1	
			1

Quelle: Eigene Darstellung von BAK und dena

Effektivität:

2030/2050: Beim CCfD-Ansatz wird die Differenz zwischen CO₂-Preis (EHS-Preis) und einem vertraglich festgelegten Preis ausgeglichen. Liegt der Vertragspreis über dem CO₂-Marktpreis, erhält das Unternehmen eine Förderung. Der Vertragspreis wird vorab (z. B. durch Ausschreibung oder administrativ) festgelegt und gilt für die gesamte Laufzeit (z. B. 20 Jahre), um die Amortisierung der Investitionskosten zu sichern. Je nach Höhe des EHS-Preises (oder zur CO₂-Abgabe) übernimmt der Staat die Differenz zu den jeweiligen Vermeidungskosten. CCfD sind ein wirksames Förderinstrument, um die Finanzierungslücke zu schliessen, da es automatisch die Preis- und Erlösriskien der SAVA minimiert. Sie reduzieren zudem die Unsicherheit bzgl. zukünftiger CO₂-Bepreisung und schaffen damit Investitionssicherheit über die Vertragslaufzeit. Die effektive Schliessung der Lücke hängt von der konkreten Ausgestaltung des Instruments ab. CCfD-Förderansätze könnten bereits 2030 die Finanzierungslücken der SAVA schliessen.

Vollzugskosten:

2030/2050: Die Vollzugskosten sind bei CCfD sehr hoch, da es sich um ein relativ komplexes System mit einem hohen administrativen Aufwand bezüglich der Bestimmung des Referenz- und Strikepreises handelt. Zudem erfordert es ein kontinuierliches Monitoring- und Reportingsystem.

Wettbewerb:

2030/2050: Da die Finanzierungslücke im Prinzip durch CCfD geschlossen wird, bleibt die Wettbewerbsfähigkeit der SAVA auch bei Einführung von CCS-Verfahren erhalten. Die Förderung von CCS durch CCfD würden zu keinen Wettbewerbsverzerrungen für die Schweizer SAVA führen («level playing field»).

EU-Kompatibilität:

2030/2050: Da es bereits Beispiele für CCfD-basierte Förderprogramme gibt, die durch die europäische Kommission zugelassen wurden, ist davon auszugehen, dass ein CCfD-basiertes Programm auch in der Schweiz mit dem Beihilferecht kompatibel sein kann.

CH-Kompatibilität:

2030: Aufgrund der relativ hohen Vermeidungskosten bei den SAVA im Jahr 2030 und bei vermutlich noch recht niedrigen EHS-Preisen (bzw. CO₂-Abgaben), würden substanzielle Förderbeträge notwendig werden. Allerdings schliesst das Instrument Über- oder Unterförderungen weitgehend aus. Je nach Finanzierungsart z.B. über die Einnahmen aus dem EHS oder der CO₂-Abgabe wäre eine verursachergerechte Finanzierung möglich, wenn die Abgaben genügend finanzielle Mittel einspielen. Insgesamt besteht eine hohe Unsicherheit über die Förderkosten, da der künftige EHS-Preis ein hohes Mass an Unsicherheit mit sich bringt. Da es bisher keine CCfD in der Schweiz gibt, ist es fraglich, ob dieses Instrument in der Schweiz bereits 2030 zur Anwendung kommt. Allerdings gibt es bereits Beispiele für CCfD-basierte Förderungen in anderen europäischen Ländern.

2050: Der EHS-Preis (CO₂-Abgabe) könnte bis 2050 stark ansteigen, um die Klimaschutzziele zu erreichen, insbesondere wenn die Zuteilung an Zertifikaten ausläuft. In der Folge würde der staatliche Finanzierungsbedarf deutlich sinken und die Einnahmen durch die CO₂-Bepreisung zunehmen und damit eine verursachergerechte Finanzierung gewährleisten. Zudem wären die Erfahrungen aus anderen Ländern verfügbar, so dass die Wahrscheinlichkeit der Einführung von CCfD in der Schweiz im Zeitverlauf zunimmt. Die Schweiz könnte auf die Regelungen und Erfahrungen der europäischen Länder bei der Ausgestaltung dieses Instruments zurückgreifen.

5.2.5 Zusammenfassung der Bewertungen

Abbildung 18 zeigt die zusammenfassende Bewertung der verschiedenen Instrumente, jeweils für die Jahre 2030 und 2050.

Abbildung 18: Bewertung der Förderinstrumente für CCS, 2030, 2050

	Investitionszuschüsse		Zuschüsse zu Betriebskosten		Variable Beiträge (CCfD)		WAAC-Reduktion	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Effektivität	-1	1	-2	1	2	2	-2	1
Vollzugskosten	-1	-1	-1	-1	-2	-2	1	1
Wettbewerb	-1	1	-2	1	2	2	-2	1
EU-Kompatibilität	2	2	2	2	2	2	2	-1
CH-Kompatibilität	2	2	2	2	-1	1	-1	-1
Gesamtbewertung	1	5	-1	5	3	5	-2	1

Quelle: Eigene Darstellung von BAK und dena

Einmalige Investitionsbeträge für die Unterstützung der Einführung von CCS-Anlagen sind eher effektiv, da sie auch die Abschreibungen und Zinskosten reduzieren und damit helfen die Finanzierungslücke bereits im Jahr 2030 deutlich zu reduzieren. Allerdings reichen sie zu diesem Zeitpunkt noch nicht aus, um die Finanzierungslücke vollständig zu schliessen und damit die Wettbewerbsposition der SAVA in der Schweiz zu sichern.

Betriebskostenzuschüsse sind wenig effektiv, da die Betriebskosten der Anlagen, insbesondere bei Anlagen mit geringen CO₂-Ausstössen (< 100.000 t CO₂ pro Jahr), nicht die wesentlichen Kostentreiber sind. Die hohen Vermeidungskosten pro Tonne CO₂ werden massgeblich durch die hohen Investitionskosten sowie Transport- und Speicherkosten verursacht.

CCfD-basierte Instrumente sind ein sehr effektives Mittel, um die Finanzierungslücke zu schliessen, da sie alle Kostenelemente – auch Transport und Speicherung – berücksichtigen. Sie reduzieren zudem die Unsicherheit bzgl. zukünftiger CO₂-Bepreisung und schaffen damit Investitionssicherheit. Allerdings sind sie bis ca. Mitte der 2030er eher schwierig umzusetzen. Bei noch vermutlich eher niedrigen CO₂-/EHS-Preisen werden hohe Fördersummen benötigt und eine verursachergerechte Finanzierung ist vermutlich noch nicht gewährleistet.

Kein Instrument erfüllt daher alle Anforderungen, vor allem in Bezug auf Effektivität und Finanzierbarkeit. Aus diesem Grunde ist möglicherweise eine Kombination von Fördermitteln z.B. in Form von Investitions- und Betriebskostenzuschüsse/CCfD notwendig. Ausserdem ist es notwendig, die Förderung zeitlich an die sich im Zeitablauf ändernden Rahmenbedingungen (Hochlauf der CCS-Infrastruktur) anzupassen.

6 Fazit und Empfehlungen

Ziel der Studie war es die Investitionsbedarfe für CCS für SAVA in der Schweiz zu ermitteln und mögliche Anreizsysteme und Förderinstrumente zu erläutern und zu validieren. In einem ersten Schritt wurden deshalb die Investitionsbedarfe und Betriebskosten für CCS bei den Sonderabfallanlagen in der Schweiz ermittelt. In einem zweiten Schritt wurden mögliche Finanzierungs- und Unterstützungsmöglichkeiten in verschiedenen Ländern und in der Schweiz dargestellt. In einem dritten Schritt wurden die diskutierten Unterstützungsmöglichkeiten und Anreizsysteme nach ausgewählten Kriterien beurteilt.

Die wichtigsten Erkenntnisse der Studie sind:

1. Hohe Vermeidungskosten führen zu erheblicher Finanzierungslücke

Im Jahr 2030 wird eine erhebliche Lücke zwischen den prognostizierten Emissionshandelssystem (EHS)-Preisen (90 bis 215 CHF/t CO₂) und Vermeidungskosten für CCS an Sonderabfallverbrennungsanlagen (SAVA) erwartet. Die berechneten Vermeidungskosten liegen zwischen 381 bis 630 CHF/t CO₂. Bei Berücksichtigung höherer Investitionskosten aufgrund des höheren Preisniveaus der Schweiz ergeben sich Vermeidungskosten von 441 bis 739 CHF/t CO₂. Ohne finanzielle Unterstützung sind CCS-Technologien für SAVA in der Schweiz wirtschaftlich nicht tragfähig.

2. Kostengünstige Energie mit einer geringen Treibhausgasintensität fördert eine kosteneffektive CO₂-Abscheidung.

Bei der CO₂-Abscheidung handelt es sich um einen energieintensiven Prozess (Wärme und Strom). Daher ist die Bereitstellung kostengünstiger Energie ein Treiber für geringe Vermeidungskosten. Aufgrund der hohen Investitionskosten je abgeschiedener Tonne CO₂ beträgt der Energiekostenanteil an den Vermeidungskosten für 2030 bei SAVA jedoch nur etwa 10 Prozent. In der Ausschreibung «CO₂-Entnahme und -Speicherung, inkl. Sektorkopplung» wird vorausgesetzt, dass die Energie für die Abscheidung nicht durch fossile Energieträger bereitgestellt wird. Die CO₂-Emissionen der Energiebereitstellung werden berücksichtigt. Entsprechend ist für einen treibhausgasarmen und kosteneffizienten Betrieb der Einsatz erneuerbarer Energie notwendig.

3. Hauptsächlich externe Kostentreiber sind Transport & Speicherung

Wesentliche externe Kostentreiber sind die Kosten für Transport & Speicherung. Die Schweiz ist als Land ohne direkten Zugang zum Meer auf die Infrastruktur anderer Länder für die Speicherung von CO₂ angewiesen, solange keine inländische Speicherung möglich ist. Bis 2030 ist zu erwarten, dass erste Projekte CO₂ unter dem Meeresboden der Nordsee und des Mittelmeeres speichern. Entsprechende Projekte befinden sich bereits in der Bauphase: Porthos (Niederlande), Northern Lights (Norwegen), Greensand (Dänemark), Ravenna CCS (Italien). Die Entwicklung einer Pipeline-Infrastruktur im Ausland zu den Verbindungspunkten in der Schweiz (Wallbach, Monthey) wird vermutlich bis 2035/2040 dauern. Entsprechend ist in der Zwischenzeit der Transport per Zug und/oder Binnenschiff notwendig, was zu hohen Kosten führt.

4. Bestehende Förderprogramme sind nicht ausreichend, um Kostenlücke zu schliessen

Aktuell ist die Förderung von neuartigen Technologien und Prozessen in Art. 6 Klima- und Innovationsgesetz (KIG) festgehalten. Das bestehende Förderprogramm in der Klimaschutz-Verordnung (KIV) und die entsprechende Ausschreibung «CO₂-Entnahme und -Speicherung inkl. Sektorkopplung» schaffen für 2030 keinen ausreichenden Anreiz für den Einsatz von CCS, obwohl Investitions- und Betriebskosten mit bis zu 50 Prozent der anrechenbaren Kosten gefördert werden können. Die Berechnung zeigen ebenfalls, dass eine pauschale Förderung oder vereinfachte Abschreibungsverfahren nicht zu einer ausreichenden Reduktion der Vermeidungskosten führen. Neben den hohen Kosten für die Abscheidung an der Anlage sind Transport & Speicherung ein wesentlicher Treiber der hohen Vermeidungskosten. Instrumente wie Carbon Contracts for Difference (CCfD), die auch Transport und Speicherung fördern, sind zu bevorzugen, da sie die hohen Vermeidungskosten überwinden können und Sicherheit für die Unternehmen bei Veränderungen des EHS-Preises liefern.

5. Die Ausgestaltung von Carbon Contracts for Difference kann sich deren Ausrichtung in anderen europäischen Ländern orientieren

Die Niederlande (SDE++), Dänemark (CCS Fund) und Deutschland (Klimaschutzverträge) haben bereits CCfD-basierte Förderprogramme spezifisch für «Carbon Capture and Utilization and/or Storage (CCU/S)» oder im Gesamtkontext der Energiewende eingeführt. Diese Länder könnten als Best-Practice Beispiele für eine mögliche Förderrichtlinie in der Schweiz einbezogen werden.

6. Betrachtete Fördermassnahmen sind mit EU-Beihilferecht kompatibel

Nach einer ersten nicht-juristischen Einschätzung sind die diskutierten Fördermassnahmen mit dem EU-Beihilferecht kompatibel. Eine gezielte Auslegung eines neuen Förderprogramms zur Förderung von SAVA könnte nicht mit dem Beihilferecht kompatibel sein. Über das KIG ist eine Doppelförderung ausgeschlossen: «Keine Beiträge werden ausgerichtet für Massnahmen, die bereits anderweitig eine Förderung erhalten oder in ein Instrument zur Verminderung der Treibhausgasemissionen eingebunden sind.» CCfD wurden auf europäischer Ebene bereits genehmigt. Auch Steuervergünstigungen können mit dem EU-Beihilferecht kompatibel sein.

7. Bei der CO₂-Bepreisung sollte bestehendes Vorgehen beibehalten werden

In der Schweiz sind die SAVA-Betreibenden gemäss der CO₂-Verordnung Art. 43 nicht vom EHS erfasst. Auf Willen der Anlagenbetreibenden können Anlagen jedoch am EHS teilnehmen, wodurch sie von der nationalen CO₂-Abgabe befreit werden. Die CO₂-Abgabe wird nur auf fossile Brennstoffe erhoben, jedoch nicht auf Abfälle. Eine Befreiung kann auch über eine Verminderungsverpflichtung mit dem Bund erfolgen. Daher prüfen Anlagenbetreibende, welche Option für sie günstiger ist. Mit der Ankündigung der EU-Kommission, dass die thermische Abfallbehandlung ab 2028 in den EU EHS aufgenommen wird und der Prüfung einer Option für den möglichen Ausstieg einzelner Mitgliedstaaten bis Ende des Jahres 2030, bedarf es ein an die europäischen Entwicklungen angepasstes Vorgehen. Für den Erhalt gleicher Rahmenbedingungen mit den europäischen Nachbarstaaten ist darauf hinzuwirken, dass die SAVA (Emissionen aus der thermischen Umwandlung der Abfälle) in der Schweiz vom EHS ausgenommen sind, solange dies auch auf europäischer Ebene der Fall ist.

Empfehlungen:

1. Zeitlich angepasste Transformation ermöglichen

Der Einsatz von CCS zur Emissionsminderung an SAVA und prozessbedingten Emissionen sieht sich mit verschiedenen Herausforderungen konfrontiert, die ein zeitlich angepasstes Massnahmenpaket zur Bewältigung benötigen. Der wirtschaftliche Einsatz ist im Wesentlichen vom Hochlauf der Infrastruktur, der Entwicklung des EHS-Preises, der Aufnahme thermischer Abfallbehandlungsanlagen in das europäische Emissionshandelssystem (EU EHS) sowie der Ausgestaltung neuer Förderprogramme abhängig.

Die Ausnahme der SAVA aus dem EHS sollte so lange Bestand haben, bis es auf Ebene der EU eine einheitliche Regelung gibt. Es sollte keine weitere Belastung für die Unternehmen durch eine zusätzliche Bepreisung der CO₂-Emissionen aus der Umsetzung der Abfälle (SAVA) geben, um ihre Wettbewerbsfähigkeit nicht zu belasten.

Parallel sind durch den Schweizer Staat die Rahmenbedingungen für die CCS-Infrastruktur vorzugeben, damit der Hochlauf beginnen kann. Die Ausgestaltung eines zusätzlichen Förderprogramms für CCS zur Ausschreibung «CO₂-Entnahme und -Speicherung inkl. Sektorkopplung» sollte auf Basis des CCfD-Modells erfolgen.

2. Nur Kombination von Beihilfen zu Investition und Betrieb könnten Finanzierungslücke vor 2050 schliessen

Um den hohen Finanzierungsbedarf für die Anschaffung von CCS-Anlagen realisieren zu können, benötigt es vor allem zu Beginn eine Unterstützung durch Investitionskostenzuschüsse. Aufgrund der vergleichsweise geringen abgeschiedenen CO₂-Mengen ist der Anteil der Anlagekosten sehr hoch. Einmalige Investitionszuschüsse zu Abscheideanlagen sind besonders effektiv, da sie die Anlage- und Herstellungskosten über den Gesamtzeitraum (durch geringere Abschreibungen und Zinskosten) reduzieren. Auch eine Reduktion der Finanzierungskosten (durch Bürgschaften etc.) wirkt deutlich kostensenkend.

Da aber die Transport- und Speicherkosten bis zum vollständigen Hochlauf der Infrastruktur hoch bleiben, braucht es zusätzlich Beihilfen zu den laufenden Kosten, wie dies im KIG mit der Förderung von Investitions- und Betriebsbeiträgen vorgesehen ist.

Investitionskosten-fokussierte Fördermassnahmen (v.a. in Form von Einmalzahlungen) sind geeignet, um die ersten CCS-Projekte zu realisieren. Zusätzlich sollten Fördermassnahmen in dieser Phase auch Betriebskosten umfassen und so dazu beitragen die Finanzierungslücke zu schliessen. Eine gesetzliche Grundlage für eine solche (nicht verursachergerechte) Förderung besteht prinzipiell durch das KIG (Art. 6), allerdings nur bis 2030. Dieser Zeithorizont ist jedoch angesichts der derzeit bestehenden Rahmenbedingungen nicht ausreichend. Der Fördermechanismus könnte jedoch komplementär zur Förderung durch das CO₂-Gesetz fortgesetzt werden.

7 Literaturverzeichnis

- Ariadne. (2021). *Notwendige CO2-Preise zum Erreichen des europäischen Klimaziels 2030*. Abgerufen am 02. 01 2025 von https://ariadneprojekt.de/media/2021/12/Ariadne-Hintergrund_CO2-Preisentwicklung_November21.pdf
- BAFU. (2024). *Klimaschutz-Verordnung - Erläuternder Bericht*. Abgerufen am 30. 01 2025 von https://www.fedlex.admin.ch/filestore/fedlex.data.admin.ch/eli/dl/proj/2024/8/cons_1/doc_6/de/pdf-a/fedlex-data-admin-ch-eli-dl-proj-2024-8-cons_1-doc_6-de-pdf-a.pdf
- BAFU. (2025). *CO2-Abgabe*. Abgerufen am 29. 01 2025 von <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationenn/verminderungsmassnahmen/co2-abgabe.html>
- BAK; dena. (2023). *Carbon Capture & Storage (CCS) - Kostenschätzung für ein CCS-System für die Schweiz bis 2050*. Abgerufen am 02. 01 2025 von <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/externe-studien-berichte/kostenschaetzung-fuer-ein-ccs-system-fuer-die-schweiz-bis-2050.pdf>
- Beiron, J., Normann, F., & Johnsson, F. (2022). *A techno-economic assessment of CO2 capture in biomass and waste-fired combined heat and power plants – A Swedish case study*. Abgerufen am 02. 01 2025 von <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1750583622001025>
- BFE. (2021). *Energieperspektiven 2050+ - Exkurs Negativemissionstechnologien und CCS - Potenziale, Kosten und Einsatz*.
- BFE. (2021). *Energieperspektiven 2050+ - Technischer Bericht*.
- BFE. (2025). *Ausschreibung «CO2-Entnahme und -Speicherung, inkl. Sektorkopplung»*. Abgerufen am 29. 01 2025 von <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/foerderung/dekarbonisierung/ausschreibung.html>
- BFE. (2025). *Einspeisevergütung*. Abgerufen am 29. 01 2025 von <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/foerderung/erneuerbare-energien/einspeiseverguetung.html>
- BFS. (2022). *Preisniveauindizes*. Abgerufen am 02. 01 2025 von <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/preise/internationale-preisvergleiche/preisniveauindizes.html>
- BMWK. (2024). *Erstes Gebotsverfahren abgeschlossen - Habeck überreicht Klimaschutzverträge*. Abgerufen am 03. 01 2025 von https://www.klimaschutzvertraege.info/news/habeck_ueberreicht_klimaschutzvertraege
- BMWK. (2024). *Leitmärkte für klimafreundliche Grundstoffe*. Abgerufen am 03. 01 2025 von <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Klimaschutz/leitmarkt-e-fuer-klimafreundliche-grundstoffe.html>

- BMWK. (2024). *Richtlinie zur Förderung von klimaneutralen Produktionsverfahren in der Industrie durch Klimaschutzverträge*. Abgerufen am 03. 01 2025 von <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/F/foerderrichtlinie-klimaschutzvertraege-fri-ksv.html>
- Bundesrat. (2023). *Bundesrat will den CO2-Emissionshandel ohne Grenzaabgaben weiterentwickeln*. Abgerufen am 29. 01 2025 von <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-95765.html>
- Carbon Capture Coalition. (2023). *Primer: 45Q Tax Credit for Carbon Capture Projects*. Abgerufen am 03. 01 2025 von <https://carboncapturecoalition.org/wp-content/uploads/2023/11/45Q-primer-Carbon-Capture-Coalition.pdf>
- Carbon Herald. (11. 03 2024). *Rising Costs Challenge Dutch CO2 Capture Project Porthos*. Abgerufen am 02. 01 2025 von <https://carbonherald.com/rising-costs-challenge-dutch-co2-capture-project-porthos/>
- Clean Air Task Force (CATF). (2024). *Designing Carbon Contracts for Difference*. Abgerufen am 03. 01 2025 von <https://www.catf.us/resource/designing-carbon-contracts-for-difference/>
- Congressional Research Service. (2023). *The Section 45Q Tax Credit for Carbon Sequestration*. Abgerufen am 03. 01 2025 von <https://sgp.fas.org/crs/misc/IF11455.pdf>
- Danish Energy Agency. (2024). *Technology Data for Carbon Capture and Storage*. Abgerufen am 02. 01 2025 von <https://ens.dk/en/analyses-and-statistics/technology-data-carbon-capture-transport-and-storage>
- Danish Energy Agency. (2024). *Technology Data for Industrial Process Heat*. Abgerufen am 02. 01 2025 von <https://ens.dk/en/analyses-and-statistics/technology-data-industrial-process-heat>
- DB Cargo. (2024). *Standardtarife und weitere Bestimmungen der DB Cargo AG*. Abgerufen am 02. 01 2025 von https://www.dbcargo.com/resource/blob/12715428/2556fb7bafc53552d0c7a02786359f4c/DB_Cargo_Preisliste_SuwB_2024_April-data.pdf
- Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt). (2025). *Informationen zum EU-ETS 1*. Abgerufen am 03. 01 2025 von https://www.dehst.de/DE/Themen/EU-ETS-1/EU-ETS-1-Informationen/eu-ets-1-informationen_node.html
- DIHK. (2022). *Die neuen Beihilfeleitlinien für Klima, Umwelt und Energie*. Abgerufen am 06. 01 2025 von <https://www.ihk.de/blueprint/servlet/resource/blob/5430414/83046779fe617d6635529e125decce9e/dihk-faktenpapier-neue-beihilfeleitlinien-data.pdf>
- DIW. (2025). *EEG-Umlage*. Abgerufen am 03. 01 2025 von https://www.diw.de/de/diw_01.c.411881.de/eeg-umlage.html
- eni. (03. 09 2024). *Eni and Snam launch Ravenna CCS, Italy's first Carbon Capture and Storage project*. Abgerufen am 02. 01 2025 von <https://www.eni.com/en-IT/media/press-release/2024/09/eni-snam-launch-ravenna-css-italy-s-first-carbon-capture-storage-project.html>

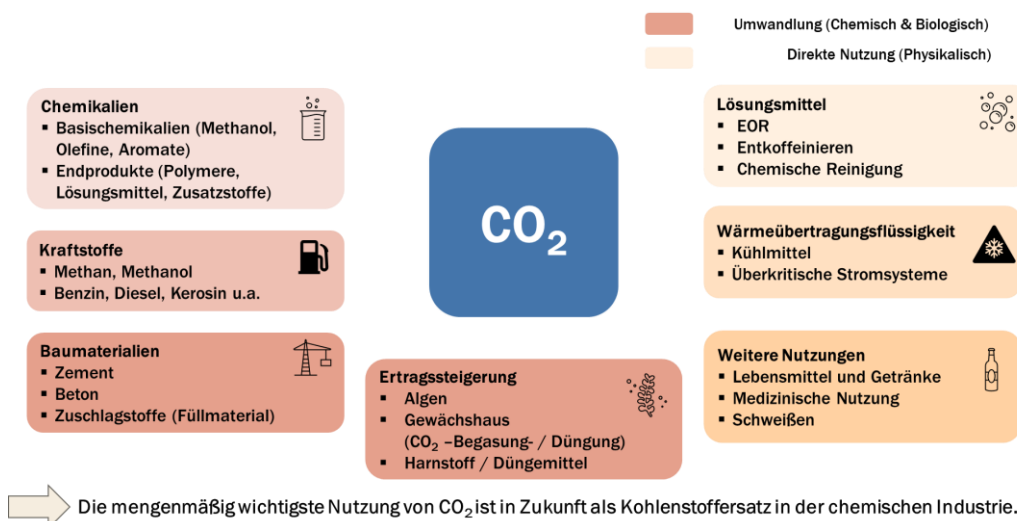
- Finanzen-Rechner. (2023). *Inflationsrechner*. Abgerufen am 11. 01 2023 von <https://www.finanzen-rechner.net/inflationsrechner.php>
- Fraunhofer ISI; Guidehouse; Wuppertal Institut. (2024). *Leitmärkte für klimafreundliche Grundstoffe Wissenschaftliches Begleitdokument im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz*. Abgerufen am 03. 01 2025 von <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/40e0c267-2dc1-4a54-9076-0c2136166d1a>
- GEOSTOR. (2024). *CO2-Speicherung tief unter der deutschen Nordsee: Die sieben wichtigsten Erkenntnisse aus der GEOSTOR-Forschung*. Abgerufen am 02. 01 2025 von https://cdrmare.de/wp-content/uploads/2024/06/insights_GEOSTOR_240626.pdf
- Grieder, A. (2023). *Recycling-Beton in Bauvorhaben der Stadt Zürich*. Abgerufen am 03. 01 2025 von https://www.nabe.gv.at/wp-content/uploads/2023/03/naBe_Webinar_Folien_Grieder_Stadt-Zuerich.pdf
- ifo. (2024). *Energie- und Klimapolitik: Effekte eines europäischen Ansatzes auf Preise, Versorgungssicherheit und CO2-Emissionen in Deutschland*. ifo Schnelldienst 5/2024. Abgerufen am 02. 01 2025 von <https://www.ifo.de/DocDL/sd-2024-05-mier-eu-energie-und-klimapolitik.pdf>
- Jacobsen, K. (2022). *Europe Direct Info-Point Europa Hamburg*. Abgerufen am 06. 01 2025 von <https://infopoint-europa.de/de/articles/grundzuege-des-europaeischen-beihilferechts>
- Kalkuhl, M., Kellner, M., Bergmann, T., & Rütten, K. (2023). *CO2-Bepreisung zur Erreichung der Klimaneutralität im Verkehrs- und Gebäudesektor: Investitionsanreize und Verteilungswirkungen*. MCC. Abgerufen am 02. 01 2025 von https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/C18_MCC_Publications/2023_MCC_CO2-Bepreisung_Klimaneutralit%C3%A4t_Verkehr_Geb%C3%A4ude.pdf
- Kompetenzzentrum Klimaschutz in energieintensiven Industrien (KEI). (2025). *Förderprogramm Dekarbonisierung in der Industrie*. Abgerufen am 03. 01 2025 von <https://www.klimaschutz-industrie.de/foerderung/dekarbonisierung-in-der-industrie/>
- Le temps. (2015). *L'oléoduc du Rhône est en stand-by*. Abgerufen am 15. 01 2023 von <https://www.letemps.ch/economie/oleoduc-rhone-standby>
- Northern Lights. (2023). *METI-JOGMEC-IETA joint workshop*. Abgerufen am 02. 01 2025 von <https://www.jogmec.go.jp/content/300382147.pdf>
- Pahle, M., Quemin, S., Osorio, S., Günther, C., & Pietzcker, R. (2024). *The Emerging Endgame: The EU ETS on the Road Towards Climate Neutrality*. Abgerufen am 02. 01 2025 von https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4373443
- Polynomics; Frontier Economics; BAK. (2024). *Optionen zur Regulierung von CO₂-Pipelines und CO₂-Untergrundspeichern in der Schweiz*. Abgerufen am 29. 01 2025 von <https://www.polynomics.ch/de/publikationen-161.html#publication-426>
- Prognos. (2024). *Strompreisprognose*. Abgerufen am 02. 01 2025 von <https://www.prognos.com/de/projekt/strompreisprognose-2024>

- Røsjorde, A., & Carpenter, M. (kein Datum). *The Norwegian Full-scale CCS project*. Abgerufen am 03. 01 2025 von https://netl.doe.gov/sites/default/files/netl-file/20CCUS_Carpenter.pdf
- Roussanaly, S., Gundersen, T., & Ramirez, A. (2024). *Putting the costs and benefits of carbon capture and storage into perspective: a multi-sector to multi-product analysis*. Abgerufen am 03. 01 2025 von <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2516-1083/ad9075>
- Saipem. (2020). *CO2NET – Grobes Design und Kostenschätzung für ein CO2 Sammel-Netzwerk in der Schweiz*. BFE. Abgerufen am 02. 01 2025 von <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=47346>
- Stadt Zürich. (2024). *Netto-Null: Stadt will Projekt zur CO2-Abscheidung umsetzen*. Abgerufen am 29. 01 2025 von <https://www.stadt-zuerich.ch/de/aktuell/medienmitteilungen/2024/01/netto-null-stadt-will-projekt-zur-co2-abscheidung-umsetzen.html>
- UBA. (2022). *Kohlendioxid-Emissionsfaktoren für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990-2020*.
- Umweltbundesamt. (2023). *Einführung eines CO2-Grenzausgleichssystems (CBAM) in der EU*. Abgerufen am 03. 01 2025 von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/cbam_factsheet_de.pdf
- UVEK. (2022). *Vereinbarung zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft vertreten durch das UVEK und den Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen*. Von <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/70634.pdf> abgerufen
- VBSA. (2021). *Monitoring-Bericht zur CO2-Branchenvereinbarung für das Jahr 2020*. Von https://vbsa.ch/wp-content/uploads/2021/08/2021_08_19-VBSA-CO2-Report-2020.pdf abgerufen
- vdz. (2024). *Anforderungen an eine CO2-Infrastruktur in Deutschland - Voraussetzungen für Klimaneutralität in den Sektoren Zement, Kalk und Abfallverbrennung*. Düsseldorf. Abgerufen am 02. 01 2025 von https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/zementindustrie/VDZ-Studie_CO2-Infrastruktur-Deutschland.pdf
- VTG. (2022). *Flüssiggas-Kesselwagen für tiefkalte Gase*.
- WV Stahl. (2025). *Low Emission Steel Standard (LESS)*. Abgerufen am 03. 01 2025 von <https://www.wvstahl.de/less/>
- Xodus. (2024). *2024 SDE++ Aramis Carbon Capture and Storage Fee Review*.
- ZAR. (2023). *ZAR CO2 Kompetenzzentrum - Statusbericht Herbst 2023*. Abgerufen am 22. 01 2025 von https://www.kvalinth.ch/fileadmin/user_upload/Statusbericht_ZAR_2023.pdf

8 Anhang

Exkurs Carbon Capture & Utilization (CCU)

Bei Carbon Capture & Utilization (CCU)-Verfahren wird abgeschiedenes CO₂ physikalisch, chemisch oder biologisch verwendet. Das CO₂ kann anschliessend zur Herstellung von Kunststoffen, in Baumaterialien wie Dämmstoffen oder als Ersatz für fossiles Kerosin in der Luftfahrt genutzt werden (siehe Abbildung).



CCU-Verfahren zeichnet ein hohes Potenzial zur Vermeidung von Emissionen der petrochemischen Industrie aus. Dies gilt insbesondere für Verfahren, die weiterhin und zukünftig Kohlenstoff in Produkten (u.a. Kunststoffe) benötigen oder für kohlenstoffhaltige Kraftstoffe (u.a. Kerosin in der Luftfahrt).

Strukturelle Herausforderungen

Hohe Kosten für CCU-Feedstocks: Die Verfahren zur Nutzung von CO₂ zur Herstellung von Grundstoffchemikalien sind von einem hohen Energiebedarf gekennzeichnet (8.000 bis 15.000 kWh/t CO₂ oder 22.000 bis 49.000 kWh/t_{HVC})¹². Der Energiebedarf ist dabei abhängig von der CO₂ Quelle, dem Produkt sowie im Wesentlichen vom Energiebedarf zur Herstellung von Wasserstoff. Der hohe Energiebedarf resultiert in entsprechend hohen Vermeidungskosten von 215 bis 1.244 €/t CO₂¹³.

Renewables Pull Effekt: Günstigere Bedingungen für erneuerbare Energie im Ausland (höhere Volllaststunden bei Wind- und Solarenergie) führen zu strukturell geringeren Produktionskosten bei Grundstoffchemikalien und erhöhen somit die Standortattraktivität im Ausland.

¹² Der Strombedarf zur Herstellung von Methanol liegt zwischen 8,4 bis 11,5 MWh/t_{Methanol}. Für die Bereitstellung des CO₂ wird ein Strombedarf von 500 bis 2.000 kWh/t CO₂ und für die Wasserstoffherstellung wird ein Wirkungsgrad von 66,6 und 80 Prozent angenommen, der im Ergebnis zu einem Strombedarf von 7.900 bis 9.500 kWh/t H₂ führt. Die Zahlen basieren auf Berechnungen der dena.

¹³ Die Kosten ergeben sich aus folgenden Annahmen: H₂-Preis: 1,5 bis 4,5 €/kg H₂, CO₂-Preis: 50 bis 400 €/t CO₂, eingesparte Emissionen: 5t CO₂/t_{HVC}. Die Kosten für Investitions- und Betriebskosten ergeben sich aus Agora Verkehrswende & Agora Energiewende (2018).

Günstigere fossile Produkte: Durch die hohen Kosten für Herstellung von CCU-Produkten besteht die Gefahr des Carbon Leakages, solange die Produktion auf Basis fossiler Rohstoffe günstiger ist.

Keine Anreize für Scope-3-Emissionen: Bisher bestehen keine Anreize zur Senkung des im Produkt gebundenen Kohlenstoffs zu Beginn der Wertschöpfungskette durch Umstellung auf nicht-fossile Feedstocks.

Regulatorische Herausforderungen

EU ETS Regeln: CCU wird derzeit nur unter sehr spezifischen Umständen als Emissionsminderung an der Quelle anerkannt. Die Überarbeitung der EU ETS-Richtlinie enthält eine Bestimmung (Artikel 12.3.b), die festlegt, dass keine ETS-Zertifikate für CO₂ abgegeben werden müssen, wenn dieses aufgefangen und dauerhaft in einem Produkt gebunden wird, wodurch eine erneute Freisetzung verhindert wird. Die Regelungen im EU ETS besagen weiterhin, das CO₂ bei einer erneuten Freisetzung, wie bei Kraftstoffen wie Renewable Fuels of Non-Biological Origin (RfNBOs) oder Recycled Carbon Fuels (RCFs), ETS-Zertifikate nur einmal bezahlt werden müssen, und zwar bei der ursprünglichen Quelle. Derzeit begrenzt der REDII-Delegierte Rechtsakt zur THG-Methodik die Nutzung von ETS-bezogenen Emissionen in CCU-Kraftstoffen nach 2040 (nach 2036 für Emissionen aus der Verbrennung zur Stromerzeugung). Eingefangenes fossiles CO₂ wird dann bei der Verwendung für RfNBOs/RCFs nicht mehr als vermieden angesehen.

Monitoring, Reporting & Verification (MRV) – Massenbilanzierung: Für CCU-Verfahren zur Herstellung von chemischen Produkten bestehen zwei wesentliche Herausforderungen beim MRV. Bei der Abscheidung kann noch unterschieden werden, ob das CO₂ atmosphärisch oder biogenen Ursprungs ist. Sobald es innerhalb der Transportsysteme zu einer Durchmischung kommt, ist eine segregierte Unterscheidung nicht mehr möglich. Dies gilt insbesondere bei Systemen in denen auch fossile und prozessbedingte Emissionen transportiert werden. Ein Ansatz zur Lösung dieses Problems sind Massenbilanzierungssysteme.

Anreizsysteme: CCU wird auf EU-Ebene umfangreich über das Förderprogramm Horizon Europe gefördert. Weiterhin ist die Finanzierung von Carbon Capture Utilization and/or Storage (CCU/S) ist eines der Schwerpunktthemen des EU-Innovationsfonds. Anreize bestehen aktuell einzig über die Quoten in der REFuelAviation und der FuelEU Maritime sowie den Vorgaben der Renewable Energy Directive (RED) zu RCFs und RfNBOs.

Bilanzierung: Regeln für die Bilanzierung von nicht-permanentem CCU werden von der EU nach 2026 überprüft.

