

ENDERGEBNISSE

Aufbau und Finanzierung der CO₂- Infrastruktur in Deutschland

Rahmenbedingungen für den Hochlauf
einer multimodalen CO₂-Infrastruktur

Moritz Bornemann, Luca Jähner, Sebastian Lübbers, Dr. Fabian Muralter

15.06.2026 Berlin

Agenda



1. Hintergrund, Ziel und Methodik
2. CO₂-Transportmengen
3. Hochlauf einer multimodalen CO₂-Infrastruktur
4. Rahmenbedingungen für den Hochlauf
5. Handlungsempfehlungen

Annex I und II

Hintergrund, Ziel und Methodik

01

Untersuchungsraum

- **CO₂-Mengen:**

- Branchen mit schwer vermeidbaren Emissionen:
 - Zement, Kalk, TAB (MVA/EBS)
 - 164 Standorte
 - Rund 52 Mt* THG-Emissionen, entsprechen rund 8 % der Gesamtemissionen in Deutschland

- **CO₂-Transport:**

- Zug- und Pipeline-Transport**
- CO₂-Hubs

- **Grenzübergangspunkte (GÜP):**

- Bestehende CH₄-GÜPs

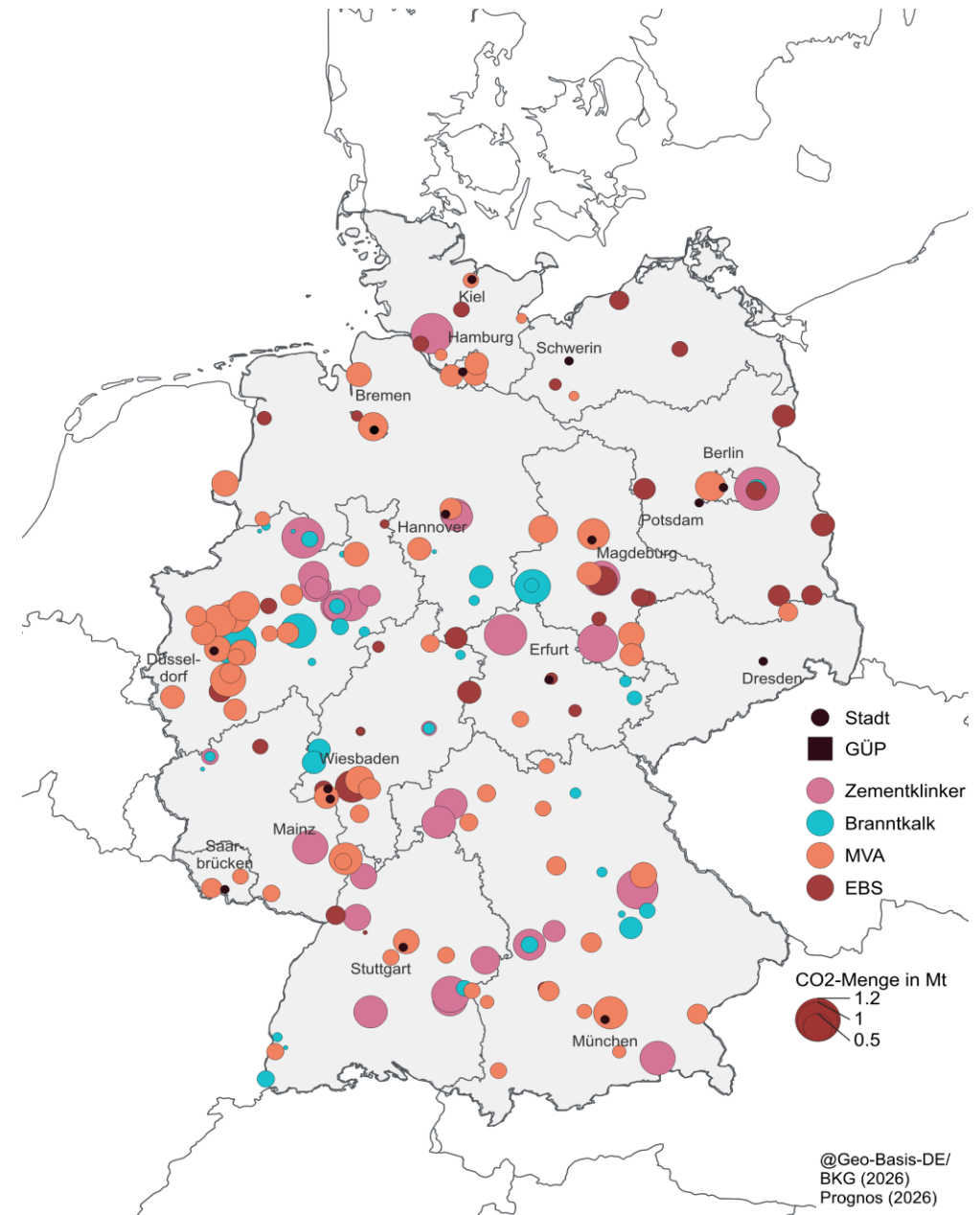
- **Zeitraum:**

- aktuell bis 2045

TAB = Thermische Abfallbehandlung, MVA = Müllverbrennungsanlagen, EBS = Ersatzbrennstoff

* fossiles/geogenes und biogenes CO₂ aus Prozessen und Energiebereitstellung

** aus Kosten- und Systemgründen wurde der Transport per Lkw und per Binnenschifffahrt ausgeschlossen



@Geo-Basis-DE/
BKG (2026)
Prognos (2026)

prognos

Arbeitsschritte



- Bestimmung der zu transportierenden **CO₂-Mengen**
- Hochlauf für **multimodalen CO₂-Transport** aufzeigen
- Berechnung der **Investitionsbedarfe** für den CO₂-Transport
- Diskussion von **koordiniertem** und **privatwirtschaftlichem** Ansatz
- Ableiten von **Handlungsempfehlungen**

Fokus der Studie

- Verschiedene Studien zeigen mögliche CO₂-Netze für Deutschland auf (z. B. OGE, VDZ, Fraunhofer), fokussieren dabei insb. ein Zielbild. Diese Studie konzentriert sich auf den **Hochlauf** und untersucht die Bedeutung der **Intermodalität**.
- Fokus liegt auf Branchen mit **nicht vermeidbaren Emissionen** (Zement, Kalk, TAB). CO₂-Mengen aus weiteren Industriebranchen, aus Negativemissionen und Transitmengen können potenziell hinzukommen und somit den Transportbedarf erhöhen.
- Die **Onshore-Speicherung** in Deutschland wird im Rahmen dieser Studie nicht berücksichtigt. Eine Entscheidung einzelner Bundesländer zugunsten der Onshore-Speicherung hätte jedoch substantielle Auswirkungen auf den erforderlichen langfristigen Transportbedarf sowie auf die Gesamtsystemkosten. Für die erste Projektwelle (FOAK-Projekte) ist ein solcher Effekt nicht zu erwarten, da die Erkundung und Erschließung geologischer Speicherstätten bis zur Inbetriebnahme typischerweise einen Zeitraum von etwa 10 bis 15 Jahren erfordert.
- Es gibt eine Vielzahl **angekündigter CCS-Projekte** bei gleichzeitig begrenzter Realisierungswahrscheinlichkeit, wodurch zukünftige Infrastruktur-Auslastung und Marktstruktur unsicher bleiben. In dieser Studie werden daher bestimmte Annahmen begründet angesetzt.
- Es werden aktuelle Entwicklungen und Projektankündigungen (**bottom-up**) mit dem langfristigen Ziel der THG-Neutralität (**top-down**) zusammengeführt.

Bestimmung der CO₂- Transportmengen



02

Übersicht und Methodik

- Ziel:
 - CO₂-Mengen bestimmen, die in Deutschland transportiert werden müssen, um mindestens THG-Neutralität in den betrachteten Branchen zu erreichen
- Methodik:
 - Betrachtete Branchen mit schwer vermeidbaren Emissionen: Zementklinker, Branntkalk, TAB*
 - 1. Welle: Projektauswertung für Start bis Anfang der 2030er
 - 2. Welle: Hochlauf bis um 2040 angelehnt an aktuelles Klimaschutzprogramm (KSP)
 - 3. Welle: Langfristiges Zielbild für Klimaneutralität (2045/2050)**
- Ergebnis:
 - CO₂-Transportmengen nach Branche für jede Welle

1. Welle (Anfang 30er): CCS-Projektauswertungen

- Welche (geförderten) deutschen CCS-Projekte gibt es und welchen Transport planen diese?

Unternehmen, Projekt	Standort	Branche	CO ₂ -Menge	Betrieb ab	Transportmodus	Destination
Heidelberg Materials LEILAC 2*	Ennigerloh, NRW	Zement	0,1 Mtpa	2026	k. A.	Rotterdam
Lhoist Everest	Wülfrath- Flandersbach, NRW	Kalk	Bis 1,4 Mtpa	2029	Zug/Schiff/Pipeline	Nordsee
Heidelberg Materials GeZero	Geseke, NRW	Zement	0,7 Mtpa	2029	zunächst Zug	Nordsee
Holcim Carbon2Business	Lägerdorf, SH	Zement	1,2 Mtpa	2030	Nutzung/Pipeline	Brunsbüttel
CEMEX CO2LLECT	Rüdersdorf, BB	Zement	Bis 1,4 Mtpa	2031	Zug	Nordsee

- Diese Projekte bilden einen möglichen **Start** der CO₂-Abscheidung in Deutschland und summieren sich auf einen Transportbedarf von **knapp 5 Mt CO₂/a** (FIDs und Umsetzung sind noch ausständig).

2. Welle (Ende 30er) und 3. Welle (Zielbild)

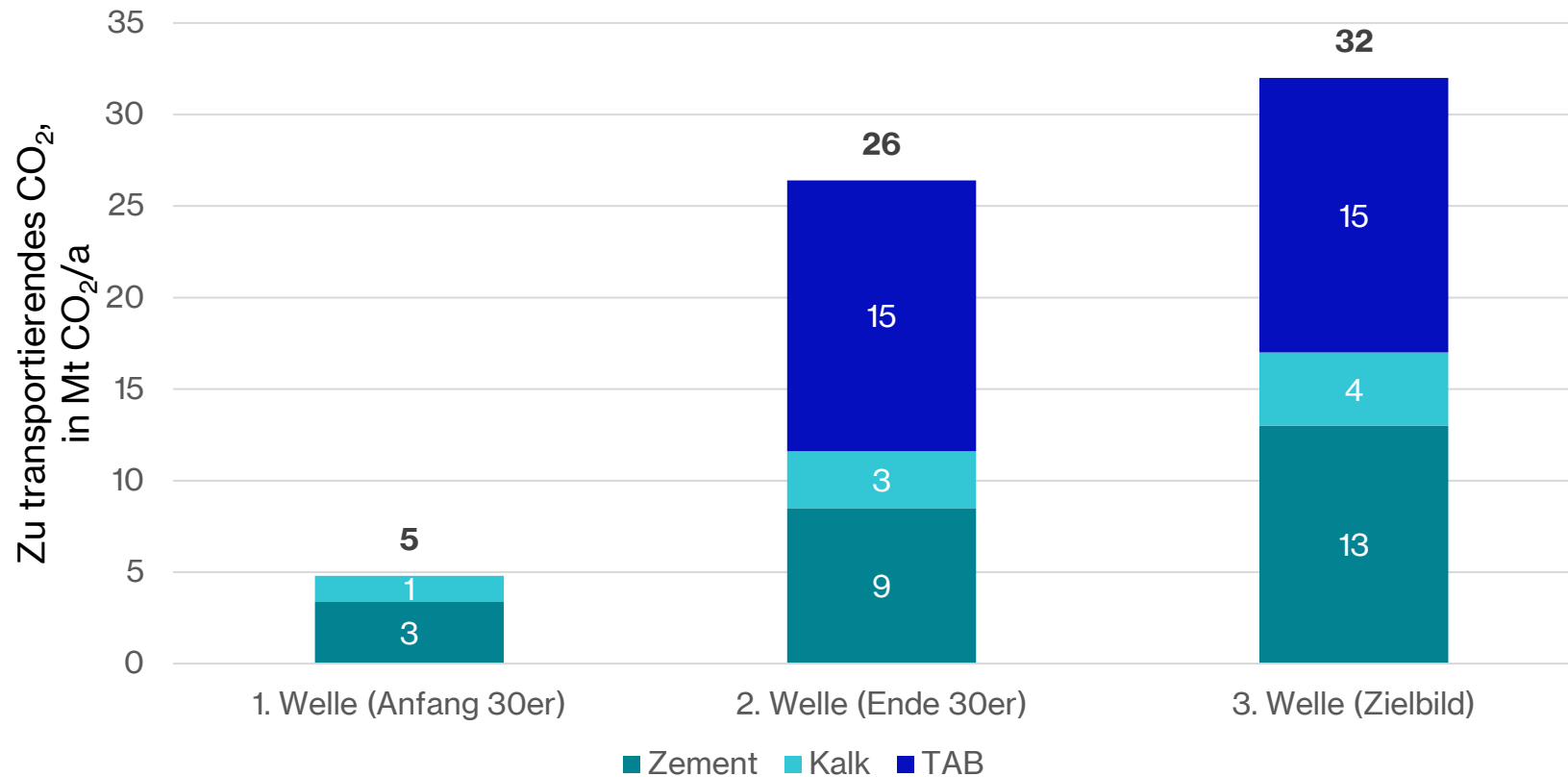
- **2. Welle:** Das **KSP 2026** gibt einen ambitionierten mittelfristigen **Hochlauf bis 2040** auf knapp 15 Mt im Sektor Energiewirtschaft (TAB) und knapp 12 Mt im Industriesektor (Zement, Kalk) vor, insg. also gut **26 Mt CO₂/a**.
- **3. Welle:** Wie sieht ein Zielbild für CCS in Deutschland in den betrachteten Branchen aus?

Branche	# Standorte	THG-Emissionen (aktuell), in Mt CO ₂ /a*	CO ₂ -Entstehung 2045, in Mt CO ₂ /a*	CCS-Quote, in %	CO ₂ -Abscheidung, in Mt CO ₂ /a
Zement	33	20	15	90%	13
Kalk	31	6	5	80%	4
TAB	100	26	23	66%	15

- Eine 100%ige Ausstattungsquote ist unrealistisch, weil nicht überall die lokalen Anforderungen, wie Platzbedarf, erfüllt werden können, Anlagen zu klein und dezentral sind, zu hohe Kosten zu erwarten sind etc.
- In den Branchen Zement, Kalk, TAB kommt es **langfristig** zur Abscheidung von **32 Mt CO₂/a (=Transportmenge)**

1. Bis 3. Welle: CO₂-Transportmengen

- Hochlauf von ersten Projekten zum Zielbild in den betrachteten Branchen in drei Wellen



- Langfristig sind zusätzliche CO₂-Mengen möglich aus anderen Branchen und CDR (Negativemissionen) sowie Transit.

Hochlauf einer multimodalen CO₂- Infrastruktur

03

Übersicht und Methodik

- Ziel:
 - Bedarf und Umfang für eine multimodale CO₂-Infrastruktur in Deutschland aufzeigen und die notwendigen Investitionsbedarfe berechnen
- Methodik:
 - Hochlauf der CO₂-Transportinfrastrukturen für 2 Varianten in 3 Wellen
 - Es wird unterschieden zwischen dem Pipeline- und Zugtransport und CO₂-Hubs
 - Es werden angekündigte (Transport)projekte ausgewertet
 - Berechnung des Investitionsbedarfs für beide Varianten
- Ergebnis:
 - Hochlauf einer multimodalen CO₂-Transportinfrastruktur (Pipeline, Zug, Hub)
 - CO₂-Transportmengen unterschieden nach Transportmodi Pipeline und Zug
 - CO₂-Leitungslängen für Haupt- und Anschlussleitungen
 - Anzahl notwendiger Ganzzüge und Ganzzugladungen
- 13 • (Kumulierter) Investitionsbedarf aufgeteilt nach Pipeline, Zug und Hub

2 Varianten für den Hochlauf einer multimodalen CO₂-Infrastruktur

- **Variante 1 (CO₂-Kernnetz):**

- Pipeline ist der umfassende Transportmodus, multimodaler Transport nimmt eine untergeordnete Rolle ein, insb. für den Hochlauf und dezentrale Standorte wichtig, langfristig bleibt der Zugtransport konstant auf einem geringen Niveau.
- Hochlauf der Pipelineinfrastruktur beginnt in NRW mit dem Delta-Rhein Korridor Projekt.
- Ausbau geht dann ausgehend von NRW erst Richtung Südwesten und langfristig in alle Regionen Deutschlands mit Anbindung aller betrachteten CO₂-Hubs und der meisten GÜPs zu den Nachbarländern, um Transitmengen zu ermöglichen.
- Fokus auf HtA-Branchen, aber auch Produktionsstandorte für Rohstahl, HVC-Cracker und größtenteils der Papier- und Glasproduktion würden sich langfristig im Pipeline-Korridor (Radius ~20 km) befinden.

- **Variante 2 (Multimodalität):**

- Zug ist beim Hochlauf und mittelfristig dominierender CO₂-Transportmodus insb. in südlichen und östlichen Regionen. Langfristig nehmen die Zugtransportmengen ab, da der Pipelineausbau (verzögert) im Westen und Norden kommt.
- Zugtransport ist Enabler des Markteinstiegs bei fehlender Pipeline-Infrastruktur und ermöglicht daher frühe Projekte, überbrückt Infrastruktur-Lücken, aber verliert mit Skalierung der Pipeline an Bedeutung.
- Zugtransport ist langfristig wichtig entweder als Zugpendel zwischen Emittenten im Süden und Osten zu zentralen Einspeisepunkten in die Pipeline oder Direkttransport zu einem CO₂-Hub.
- Ausbau der Pipeline startet in NRW und endet in Ludwigshafen am Rhein im Südwesten (Delta-Rhein-Korridor-Projekt) und in Wilhelmshaven an der Nordsee.
- Mind. ein CO₂-Hub an der Nordsee wird an CO₂-Netz angeschlossen, um große Mengen kostenoptimal zum einen in der deutschen AWZ zu speichern und zum anderen CO₂ zu ausländischen Speicherstätten exportieren zu können.

**1. Welle:
Markteintrittsphase,
erste FOAK-Projekte
werden umgesetzt**



1. Welle - Anfang 30er

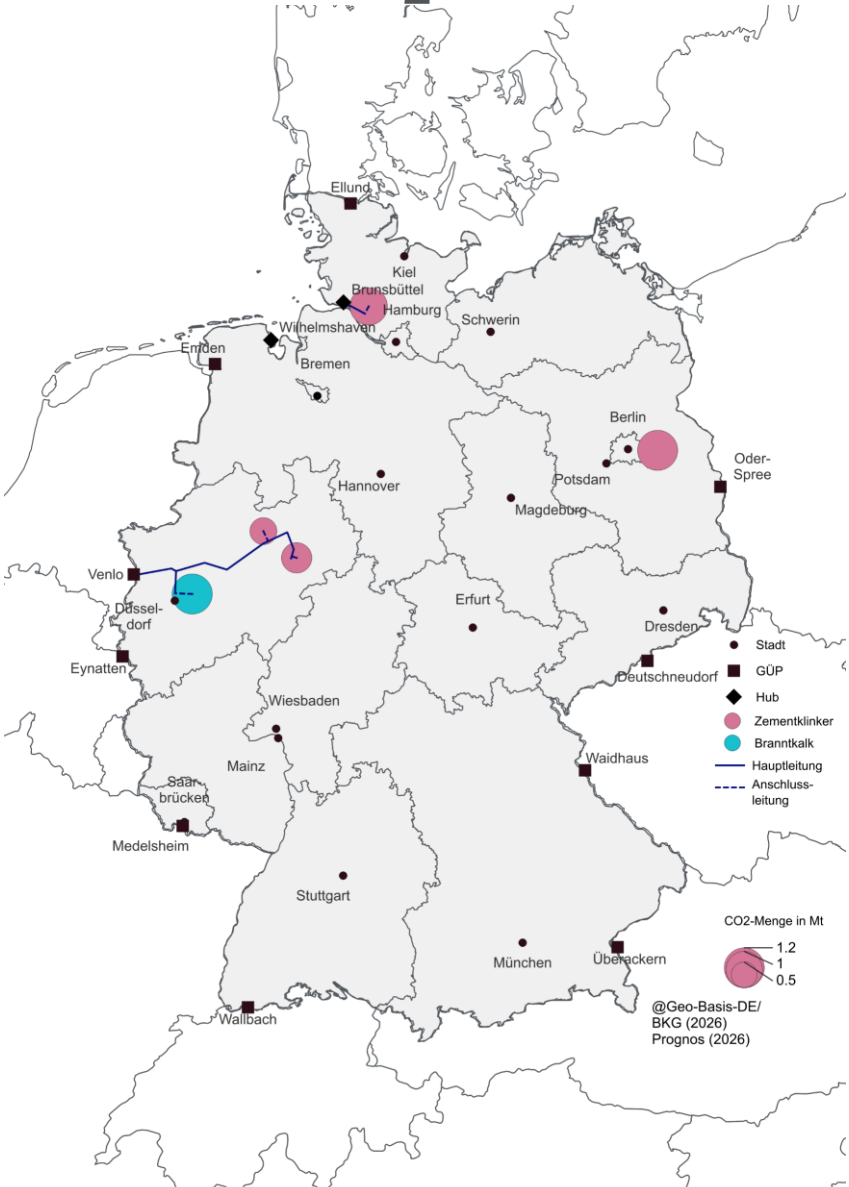
Variante 1: CO₂-Kernnetz

Branche	CO ₂ -Transportmengen, MtCO ₂ /a
Zementklinker	3
Brantnkalk	1
TAB	0
Gesamt	5

Transportmodi	Menge, MtCO ₂ /a
Pipelinetransport	4 (71%)
Zugtransport	1 (29%)

Infrastruktur	
Hauptleitung, km	238
Anschlussleitung, km	42
Anzahl Kesselwägen / Ganzzüge	181 / 6
Ganzzugladungen pro Jahr	687
CO ₂ -Hubs	2

Investitionen, in Mio. EUR	
Pipeline inkl. Verdichter	1.696
Zug	128
CO ₂ -Hub	507
Gesamt	2.330



1. Welle - Anfang 30er

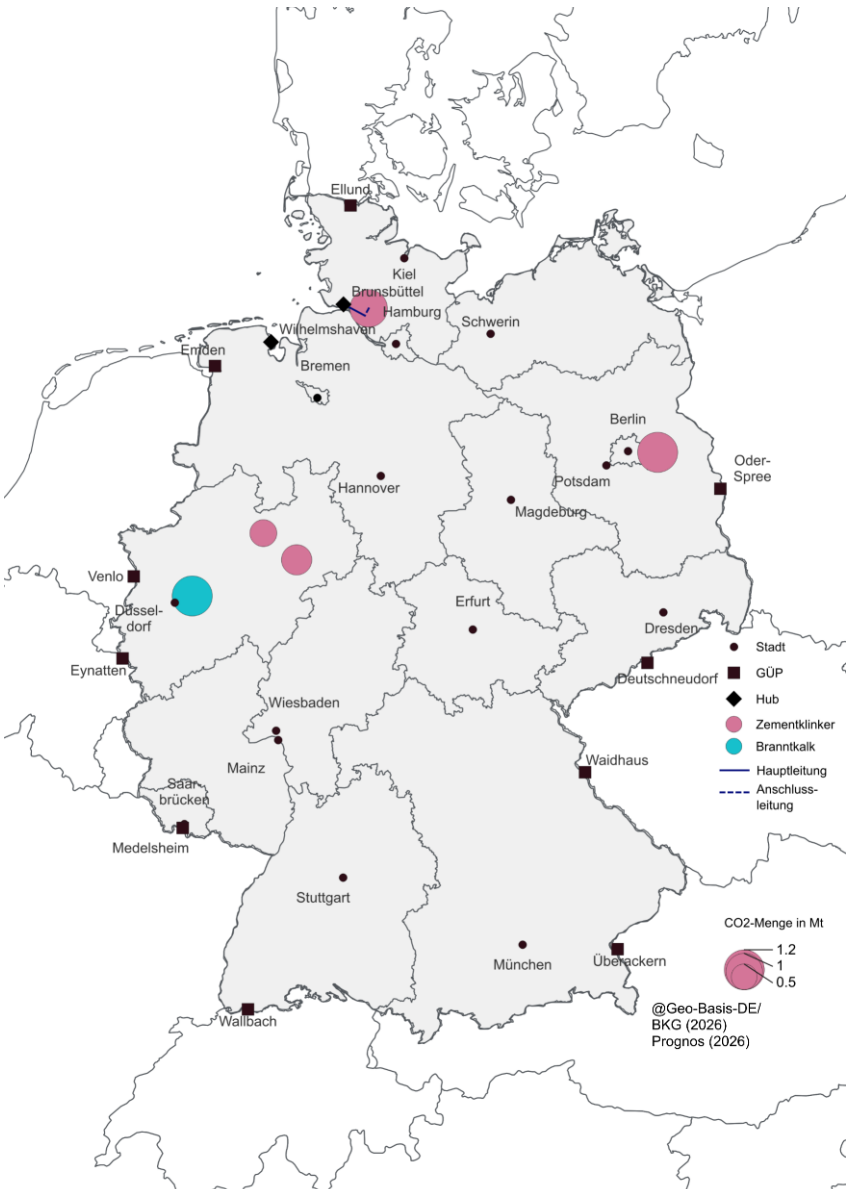
Variante 2: Multimodalität

Branche	CO ₂ -Transportmengen, MtCO ₂ /a
Zementklinker	3
Branntkalk	1
TAB	0
Gesamt	5

Transportmodi	Menge, MtCO ₂ /a
Pipelinetransport	1 (23%)
Zugtransport	4 (77%)

Infrastruktur	
Hauptleitung, km	24
Anschlussleitung, km	8
Anzahl Kesselwägen / Ganzzüge	490 / 15
Ganzzugladungen pro Jahr	1.864
CO ₂ -Hubs	2

Investitionen, in Mio. EUR	
Pipeline inkl. Verdichter	246
Zug	345
CO ₂ -Hub	507
Gesamt	1.098

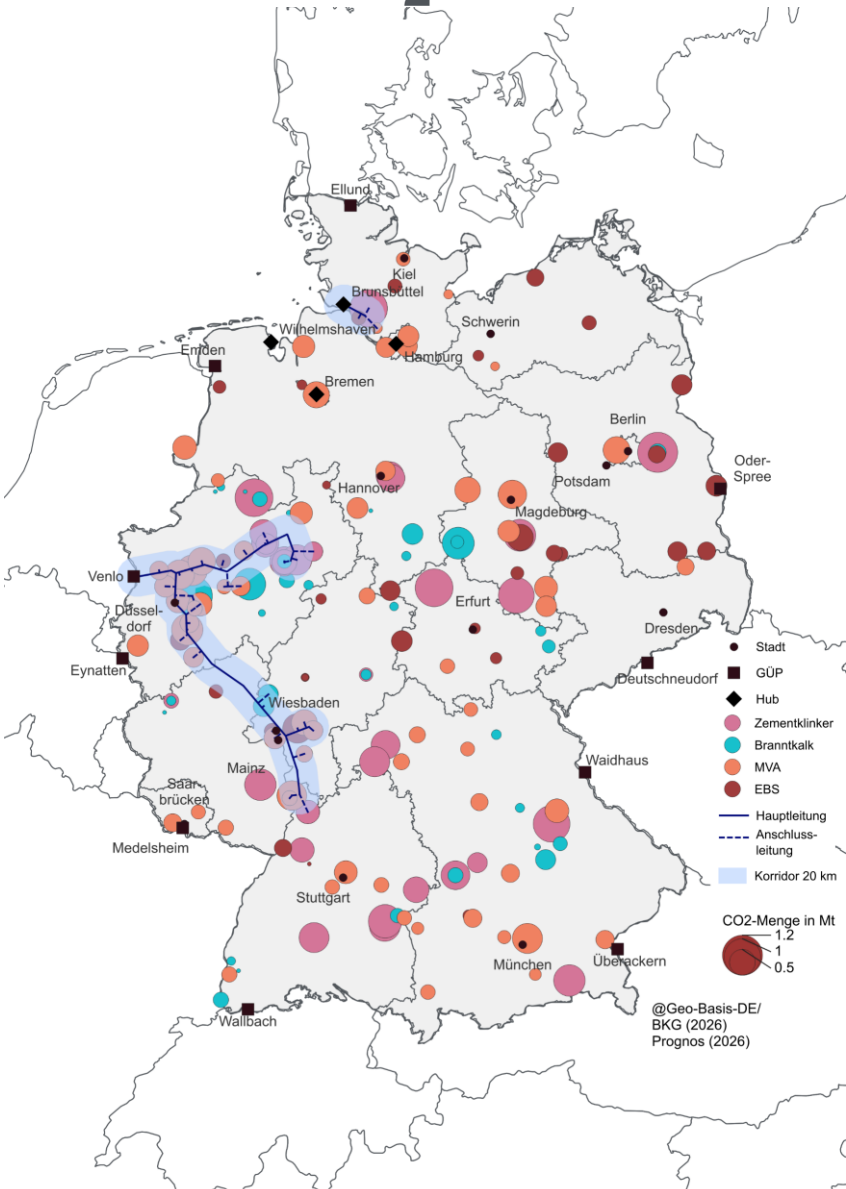


2. Welle: Skalierungs- und Konsolidierungsphase



2. Welle – Ende 30er

Variante 1: CO₂-Kernnetz



Branche	CO ₂ -Transportmengen, MtCO ₂ /a
Zementklinker	9
Brantnkalk	3
TAB	15
Gesamt	26

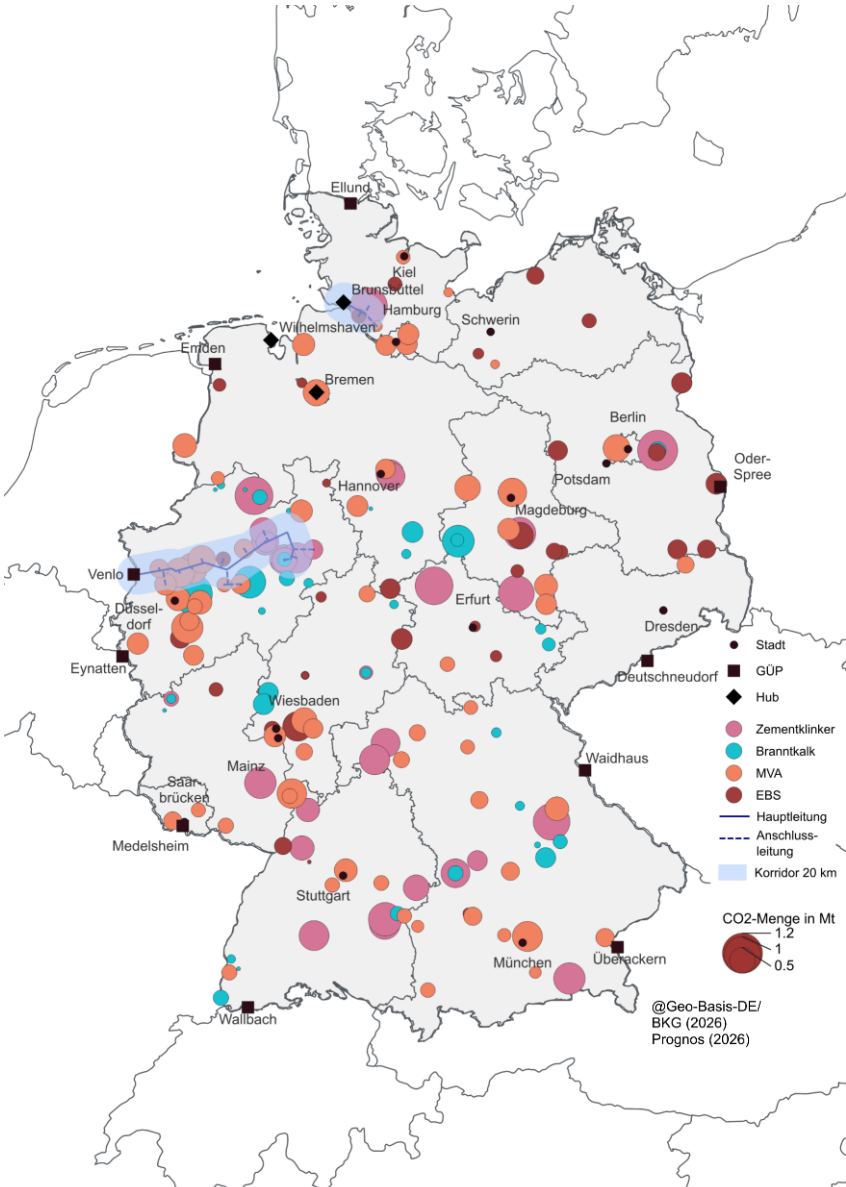
Transportmodi	Menge, MtCO ₂ /a
Pipelinetransport	20 (77%)
Zugtransport	6 (23%)

Infrastruktur	
Hauptleitung, km	509
Anschlussleitung, km	298
Anzahl Kesselwägen / Ganzzüge	735 / 23
Ganzzugladungen pro Jahr	2.796
CO ₂ -Hubs	4

Investitionen, in Mio. EUR	
Pipeline inkl. Verdichter	4.923
Zug	597
CO ₂ -Hub	740
Gesamt	6.260

2. Welle – Ende 30er

Variante 2: Multimodalität



Branche	CO ₂ -Transportmengen, MtCO ₂ /a
Zementklinker	9
Brantnkalk	3
TAB	15
Gesamt	26

Transportmodi	Menge, MtCO ₂ /a
Pipelinetransport	12 (46%)
Zugtransport	14 (54%)

Infrastruktur	
Hauptleitung, km	216
Anschlussleitung, km	148
Anzahl Kesselwägen / Ganzzüge	1.845 / 58
Ganzzugladungen pro Jahr	7.015
CO ₂ -Hubs	4

Investitionen, in Mio. EUR	
Pipeline inkl. Verdichter	2.224
Zug	1.493
CO ₂ -Hub	1.555
Gesamt	5.271

3. Welle: Marktreife



3. Welle - Zielbild

Variante 1: CO₂-Kernnetz

Branche	CO ₂ -Transportmengen, MtCO ₂ /a
Zementklinker	18
Brantnkalk	5
TAB	23
Gesamt	47*

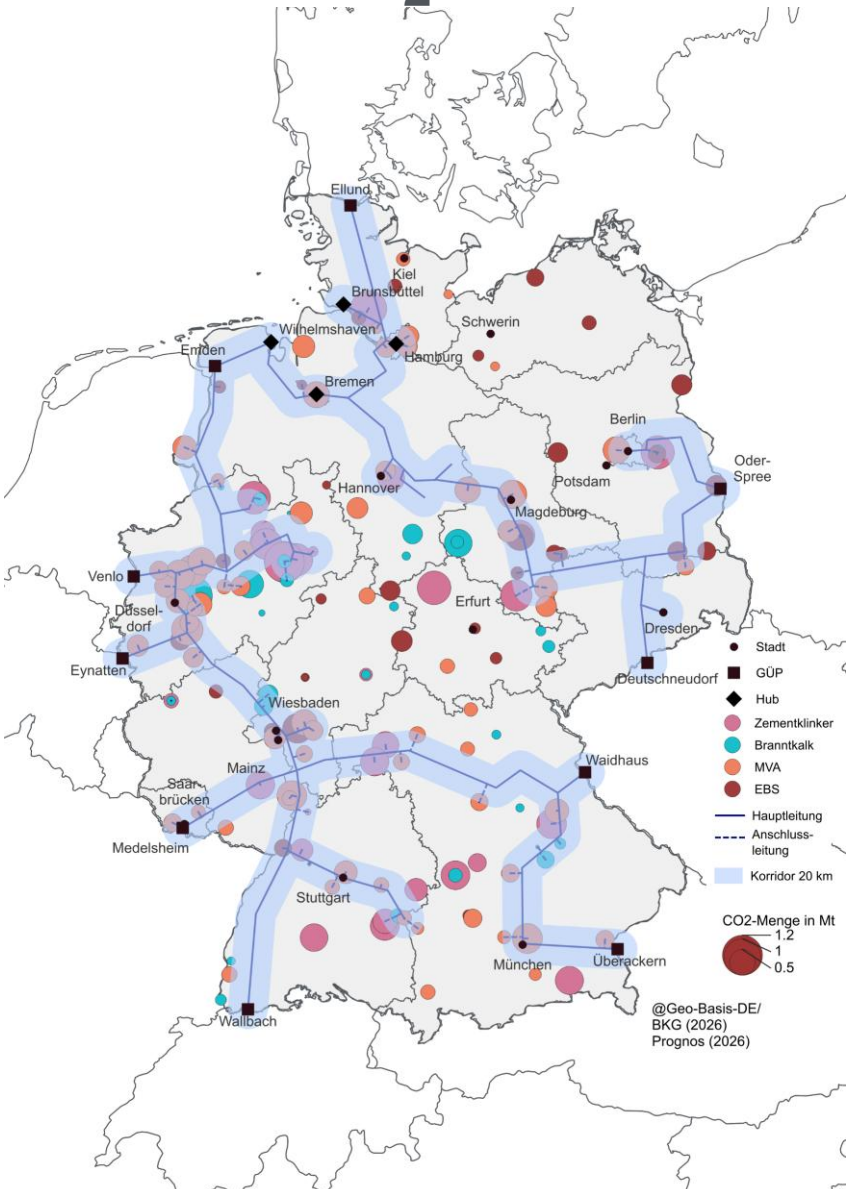
Transportmodi	Menge, MtCO ₂ /a
Pipelinetransport	41 (87%)
Zugtransport	6 (13%)

Infrastruktur	
Hauptleitung, km	3.218
Anschlussleitung, km	745
Anzahl Kesselwägen / Ganzzüge	774 / 24
Ganzzugladungen pro Jahr	2.943
CO ₂ -Hubs	4

Investitionen, in Mio. EUR	
Pipeline inkl. Verdichter	28.650
Zug	639
CO ₂ -Hub	740
Gesamt	30.029

*In dieser Variante werden die Zugtransportmengen langfristig konstant bei 6 MtCO₂/a gehalten. Die Pipelinetransportmengen ergeben sich endogen aus den im Korridor gelegenen Anlagenstandorten. Im Szenario eines umfassenden CO₂-Kernnetzes werden entlang des Korridors insgesamt 41 MtCO₂/a transportiert und damit die erforderlichen 32 MtCO₂/a überschritten. Berücksichtigt werden ausschließlich Emissionen aus Sektoren mit schwer vermeidbaren Emissionen (Zement, Kalk, thermische Abfallbehandlung) unter Annahme einer 100-%igen Anschlussquote der im Korridor befindlichen Standorte. Zusätzliche Mengen aus anderen Sektoren (z. B. Chemie, Papier, Glas) sowie Transitmengen bleiben unberücksichtigt, können aber über das skizzierte CO₂-Netz transportiert werden.

prognos



3. Welle - Zielbild

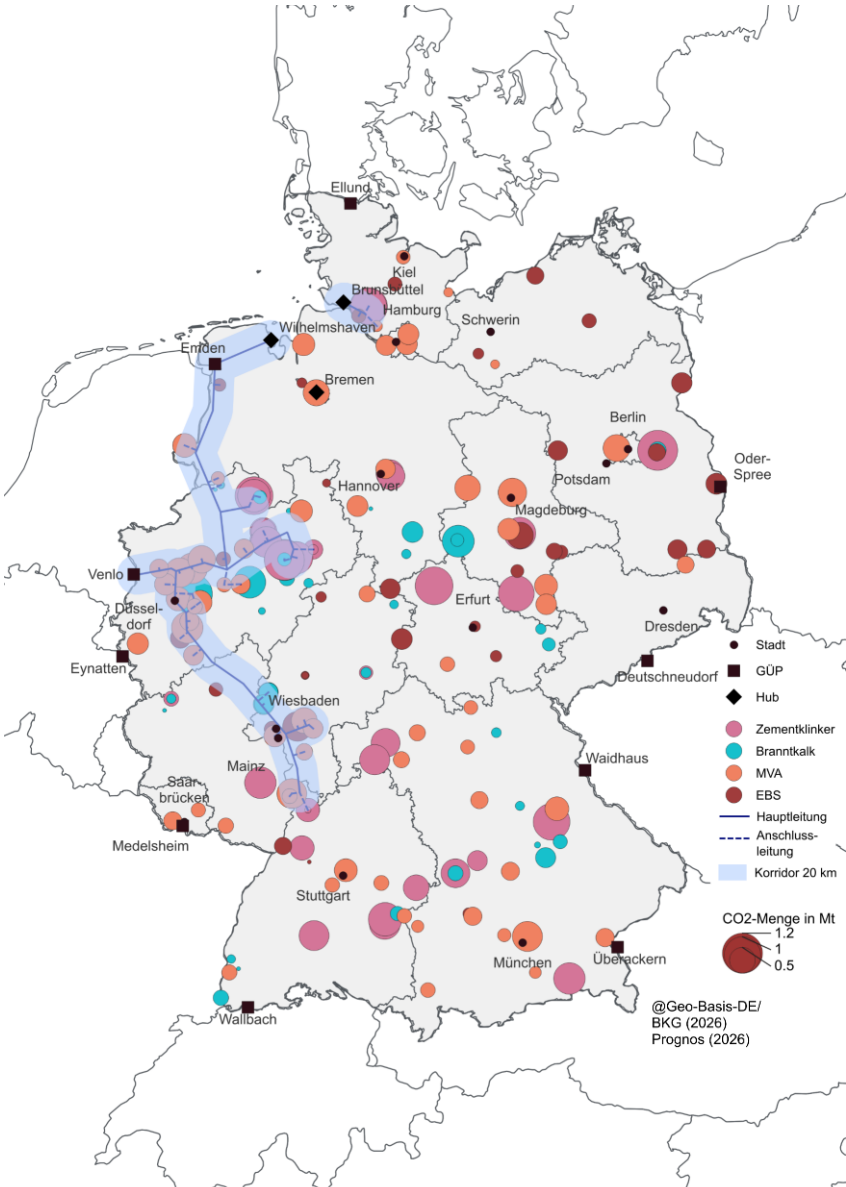
Variante 2: Multimodalität

Branche	CO ₂ -Transportmengen, MtCO ₂ /a
Zementklinker	15
Brantnkalk	4
TAB	13
Gesamt	32

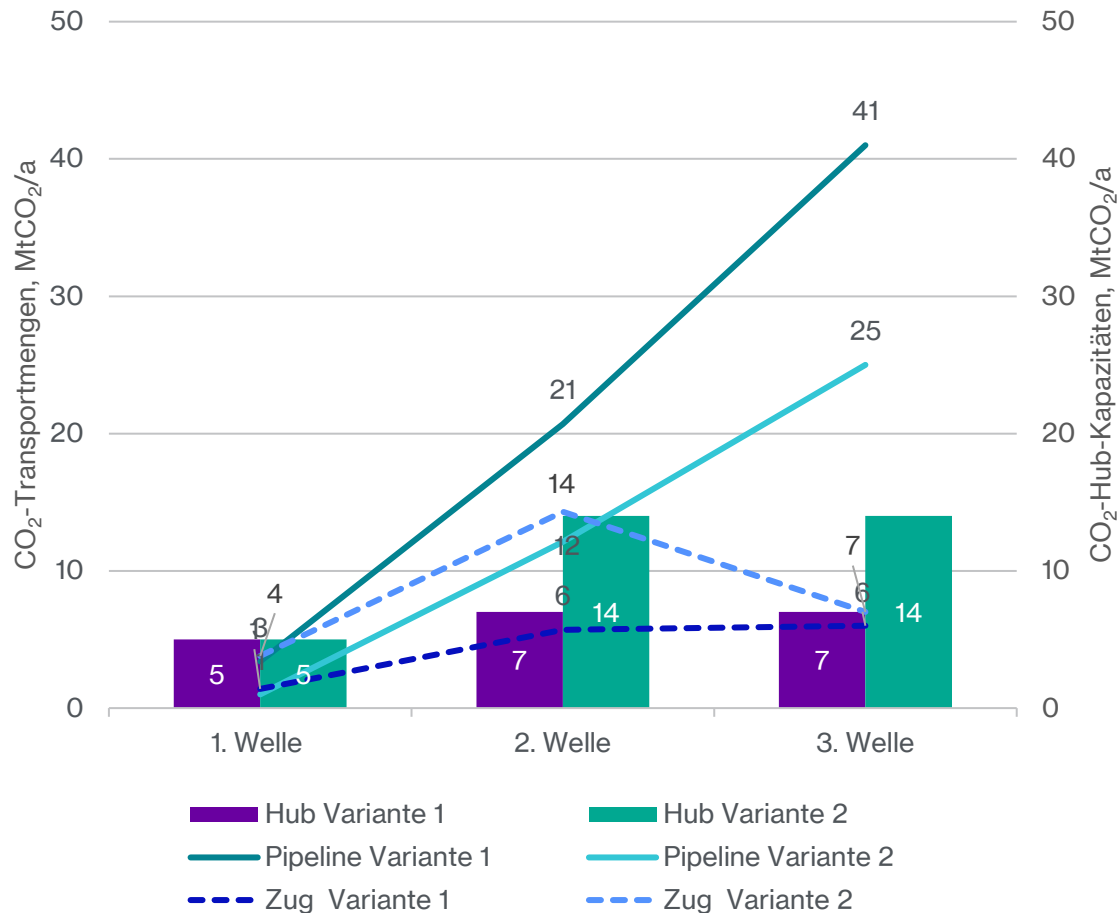
Transportmodi	Menge, MtCO ₂ /a
Pipelinetransport	25 (78%)
Zugtransport	7 (22%)

Infrastruktur	
Hauptleitung, km	813
Anschlussleitung, km	349
Anzahl Kesselwägen / Ganzzüge	903 / 28
Ganzzugladungen pro Jahr	3.434
CO ₂ -Hubs	4

Investitionen, in Mio. EUR	
Pipeline inkl. Verdichter	8.063
Zug	1.493
CO ₂ -Hub	1.555
Gesamt	11.111

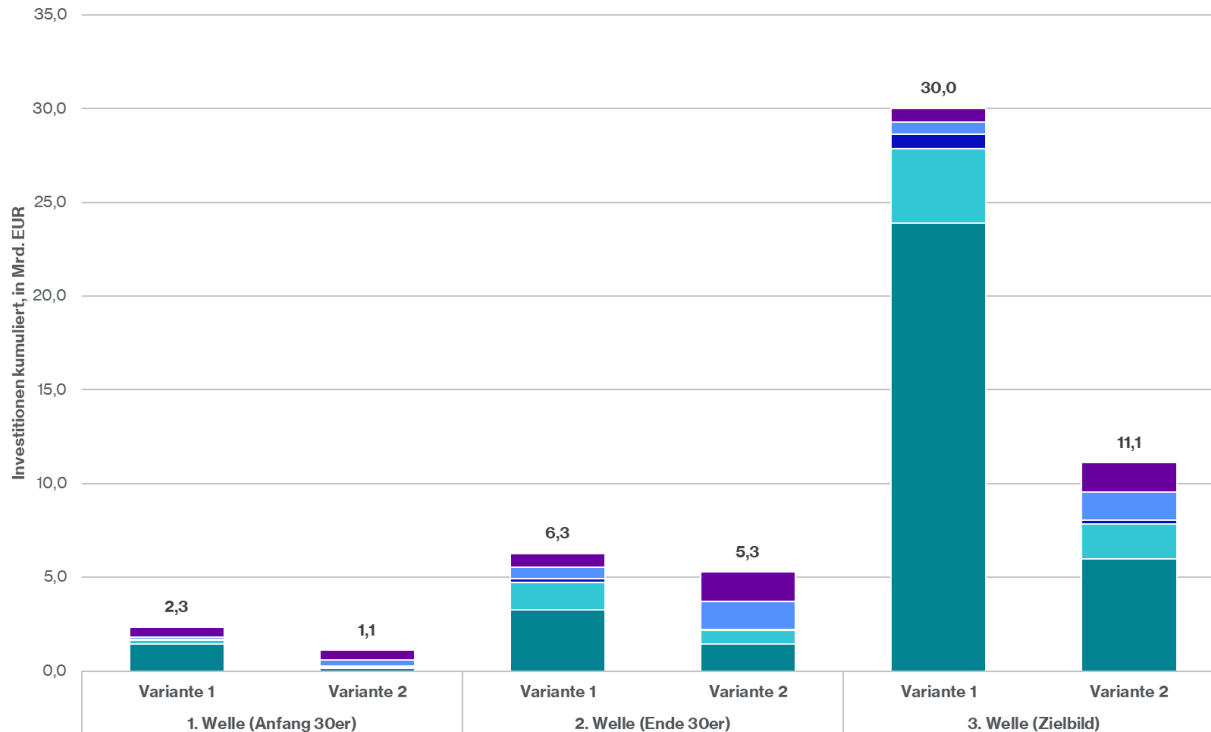


Multimodale CO₂-Transportinfrastruktur ist entscheidend – Zugtransport übernimmt zentrale Rolle im Hochlauf, Pipeline im Zielbild



- **Multimodalität** ermöglicht flexiblen Hochlauf
 - In 1. Welle Kombination Zug und begrenzter Pipeline
 - Ermöglicht schnellen Markthochlauf trotz fehlender Großinfrastruktur
 - Reduziert Anfangsinvestitionen und erhöht Systemflexibilität
- **Zugtransport** als Enabler für den Hochlauf
 - Übernimmt in der 2. Welle signifikante Transportanteile (bis ~14 Mt CO₂/a)
 - Ermöglicht Anbindung dezentraler Emittenten und Nutzung bestehender Infrastruktur
 - Verliert im Zielbild an Bedeutung mit wachsendem Pipelineausbau (~7 Mt CO₂/a)
- **Pipeline** wird langfristig (zumindest regional) zum Backbone, **Hubs** sichern Integration
 - Pipeline-Transportmengen wachsen auf ~25–41 Mt CO₂/a
 - Pipeline übernimmt Großteil der Transportmengen im Zielbild
 - Hubs bleiben zentrale Knotenpunkte für Bündelung und Systemintegration

Pipelinebasierter CO₂-Transport wird langfristig kosteneffizient, erfordert jedoch frühzeitige Milliardeninvestitionen



■ Hauptleitung ■ Anschlussleitung ■ Verdichter ■ Kesselwagen ■ Hub

3. Welle	Variante 1	Variante 2
Hauptleitung, km	3.218	813
Anschlussleitung, km	745	349
Kesselwagen Anzahl	774	903
CO ₂ -Hub-Kapazitäten, MtCO ₂ /a	7	14

- **Skalierung** treibt Infrastrukturbedarf
 - Investitionen steigen von ~1-2 Mrd. EUR (frühe 2030er) auf >30 Mrd. € im Zielbild
 - Wachstum der CO₂-Mengen macht großskalige Infrastruktur unvermeidbar
- **Systemwechsel** von flexibel zu effizient
 - 1. Welle: Zugtransport als flexibler Enabler
 - Langfristig: Pipelines dominieren durch Skaleneffekte und i. d. R. geringere spezifische Kosten*
- Strategische Trade-offs & **Pfadabhängigkeit**
 - Variante 1: hoher CAPEX, langfristig niedrigere Kosten*
 - Variante 2: geringerer CAPEX, aber höhere OPEX*
 - Frühzeitige Entscheidungen bestimmen die langfristige Kosten- und Systemstruktur

* Kostenunterschiede sind u. a. abhängig von Distanz, Mengen, Standort
Bahn ist in bestimmten Fällen auch langfristig konkurrenzfähig

Zwischenfazit

- **Koexistenz** von **Pipeline** und **Zug** ist realistisch und notwendig. Rolle von Zugtransport wird langfristig bei Skalierung der Pipeline abnehmen.
- **Zugtransport** ist zentral für den **Hochlauf** und für **Standorte**, die mittelfristig nicht mit einem Pipelineanschluss rechnen können (Süd-, Mittel- und Ostdeutschland).
- Zugtransport ist für **erste Projekte** realistische Lösung, teils auch nur im Übergang bis der Pipeline-Anschluss wenige Jahre später kommt, aber Switch-Kosten von Pipeline auf Zug und Langfristverträge mit Kesselwagenanbietern müssen berücksichtigt werden.
- Zur Erhöhung der **Systemresilienz** sollte mindestens ein **CO₂-Hub** an der Nordsee multimodal angebunden werden, um CO₂ großskalig in der deutschen AWZ zu speichern oder zu exportieren.
- Pipelines erfordern höhere Investitionen und eine hohe Auslastung, während Zugtransport OPEX-dominiert ist und bei großen Volumina über lange Distanzen höhere **spezifische Kosten** verursacht.
- Investitionen in Transportinfrastruktur in Mrd. Höhe führen zu **Pfadabhängigkeiten**, die es zu berücksichtigen gilt sowohl bei der Förderung von Projekten als auch bei der FID.
- Staatliche **Koordinierung** kann sowohl **No-regret-CO₂-Korridore** festlegen als auch **Orientierung** für **Investitionsentscheidungen** geben.

Rahmenbedingungen für den Hochlauf

04

Übersicht und Methodik

→ von Hochlauf-Varianten zur Governance-Frage (beeinflusst u. a. Risikoverteilung und Investitionsentscheidungen)

- Ziel:
Diskussion und komparative Analyse von unterschiedlichen Rahmenbedingungen
- Methodik:
 - Analyse der modellierten Varianten
 - Quantitative Analyse der CCS-Vermeidungskosten, Wirtschaftlichkeitsberechnungen
 - Analyse der Fachgespräche
 - Einordnung und Diskussion
- Ergebnis:
Einordnung, Vor- und Nachteile unterschiedlicher Ansätze

Hochlauf-Varianten spiegeln unterschiedliche Governance-Logiken (Intensitäten)

Allgemein:

- Beide gezeigten Varianten bzw. Pfade sind (technisch) möglich
- Unter welchen Bedingungen lassen sich diese Pfade realisieren?

Projektgetrieben:

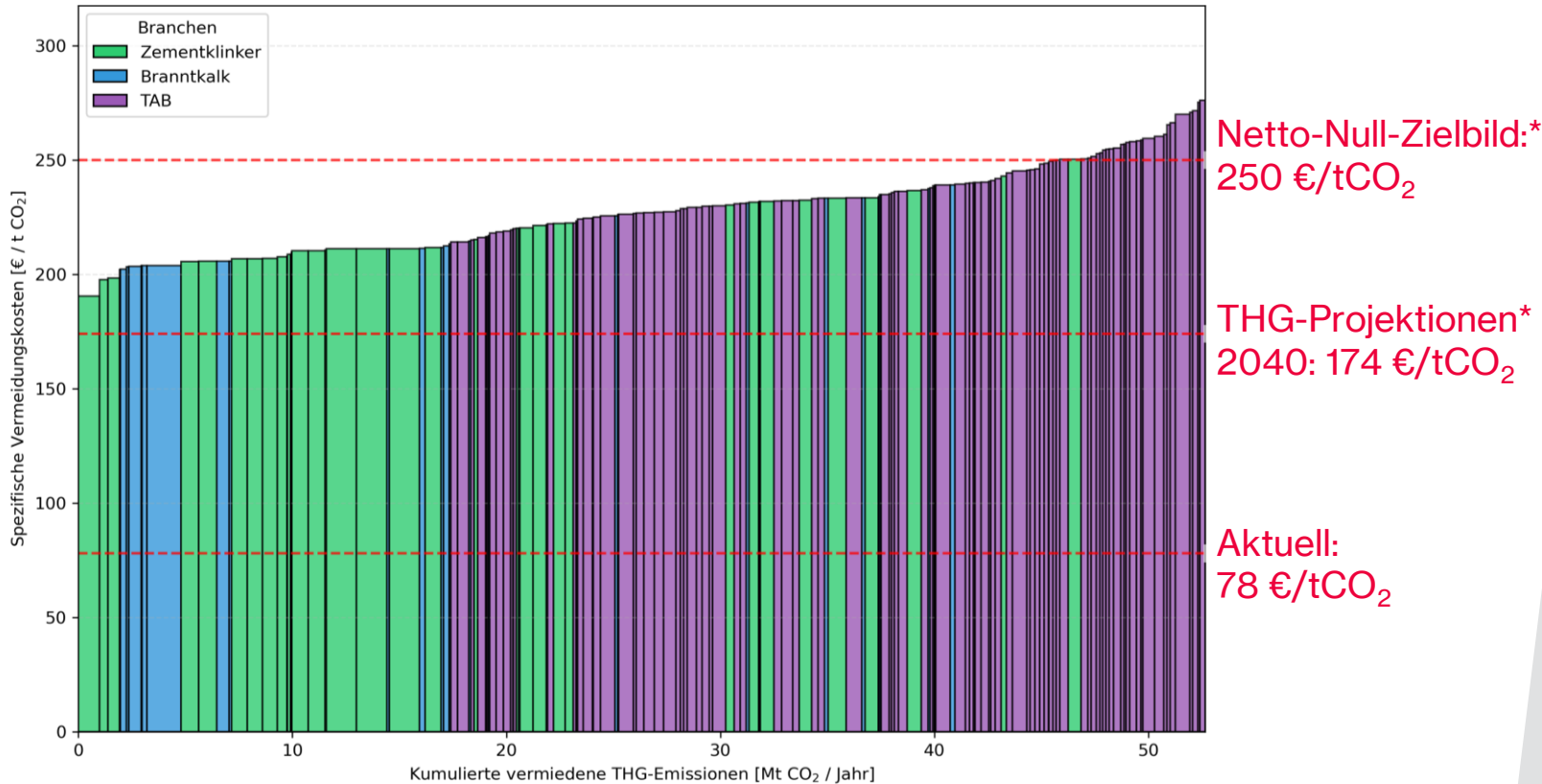
- Koordination auch wichtig, z. B. für Bündelung kritischer Mengen, No-regret-Korridore
- Entspricht tendenziell Variante 2 (Multimodalität)
- Einzelprojekte, FOAK-Logik (marktgetrieben)
- Bahn als primärer Hochlauf-Enabler
- Pipeline später, wenn wirtschaftlich

Proaktiv koordiniert:

- Entspricht überwiegend Variante 1 (CO₂-Kernnetz)
- Bündelung von Mengen
- Frühzeitiger CO₂-Kernnetz-Gedanke
- Multimodalität als Übergang/Ergänzung

Die Varianten unterscheiden sich nicht nur technisch bzw. infrastrukturell, sondern auch institutionell. Beide erfordern (staatliche) Koordination – Unterschied liegt in Intensität und Timing.

Governance beeinflusst Risikoverteilung und CCS-Vermeidungskosten, ohne Koordinierung und Förderung kein Hochlauf



- CCS-Vermeidungskosten liegen für viele Standorte heute und mittelfristig über EU-ETS-Preisen
- Förderung zieht Wirtschaftlichkeit vor (FOAK)
- Transport- und Speicherkosten hängen an Governance/Koordinierung
 - Projektgetrieben: hohe individuelle Risiken → Risikoprämien (WACC) → höhere €/t CO₂
 - Proaktiv koordiniert: Risikoverteilung → niedrigere Kapitalkosten → niedrigere €/t CO₂ langfristig

Pole des Koordinierungsspektrums mit Vor- und Nachteilen

Projektgetrieben:

Startfähig, aber strukturell begrenzt

1. **Ermöglicht frühen Markteintritt einzelner Projekte**
Kurzfristig umsetzbar durch bestehende Logistik (v. a. Bahn)
→ Variante 2 als realistischer Hochlaufpfad für frühe Projekte
2. **Hohe Flexibilität in der Frühphase**
Standortnahe Entscheidungen, geringere Koordinationsbedarfe
→ Bahn und Zwischenlösungen werden als praktikabler Start gesehen
3. **Hohe Risiken verbleiben bei einzelnen Akteuren**
Unsicherheit über Auslastung und Langfristverträge erhöhen Kapitalkosten
→ Henne-Ei-Problem, Ablehnung einseitiger Modelle
4. **Begrenzte Skalierbarkeit leitungsgebundener Infrastruktur**
Fehlende Bündelung verzögert wirtschaftliche Pipeline-Investitionen
→ Pipeline-Ausbau erfolgt später / kleinteiliger, kein Pipeline-Netz für Zielmengen

Proaktiv koordiniert:

Komplexität und Zielorientierung

1. **Ermöglicht frühzeitige Bündelung von CO₂-Mengen**
Grundlage für wirtschaftliche Dimensionierung von Pipelines
→ Variante 1 erreicht früh Mengenschwellen pro Korridor
2. **Erfordert aktive Koordination (v. a. in der Hochlaufphase)**
Abstimmung von Akteuren, Mengen und Zeitpfaden notwendig
→ Wunsch nach klarer CCS-Strategie und verlässlicher Orientierung
3. **Reduziert Investitions- und Nachfragerisiken**
Risikoteilung senkt Kapitalkosten und Netzentgelte
→ Risikoabsicherung wird als zentrale Voraussetzung für FIDs genannt
4. **Schafft Pfadklarheit für Emittenten und Infrastrukturbetreiber**
Klar definierte Korridore und Zielbild reduzieren Lock-ins
→ höhere Wahrscheinlichkeit für Umsetzung des Zielnetzes

Zwischenfazit

Dimension		Projektgetrieben	Proaktiv koordiniert
Hochlauf		punktuell / fragmentiert	gebündelt
Risiken		bei Akteuren hoch und ungleich verteilt	geteilt / abgesichert
Skalierung		projektgetrieben / verzögert	systemisch
Zielnetz		unsicher	planbar
Systemkosten		kurzfristig günstiger, langfristig risikobedingt höher	anfangs höher, langfristig effizient

Kein Entweder-Oder, sondern Spektrum unterschiedlicher Koordinationsintensitäten über die Zeit (mit Pfadabhängigkeiten): alle Hochlaufpfade benötigen (staatliche) Koordinierung in der Hochlaufphase.

Handlungs- empfehlungen

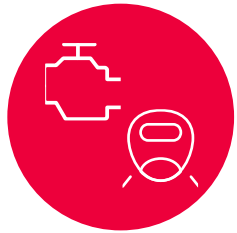
05

Der Hochlauf wird durch Risiken, Koordinationsbedarf und Systemkomplexität geprägt – nicht allein durch Kosten



Kosten und Risiken

- CCS wird aktuell v. a. über CO₂-Preise gesteuert → **Anschubförderung für First Mover** (über CCfDs hinaus) nötig
- Wirtschaftlichkeit hängt stark von **Mengen und Standort** ab
- **Skalierung** (auch europäisch) senkt Kosten, z. B. durch Transitmengen
- Zentrales Hemmnis: hohe **Risiken** und parallele **Entscheidungsprozesse** entlang Wertschöpfungskette
- **Systemisch fördern (Korridore)** statt rein projektbezogen, **Investitionskostenminimum** ≠ **Systemoptimum**



Koordination

- (Staatliche) **Koordination** zentral für Abbau von Investitionsrisiken, insb. entlang Wertschöpfungskette
- **Planungssicherheit** und **Schutz vor regulatorischen Risiken** entscheidend für Investitionen
- Fokus auf **No-regret-Korridore** statt vollständiger Netzplanung
- **Abstimmung** zwischen Bund, Ländern, Marktakteuren und Partnerländern aufwendig aber erforderlich
- **Transparente Roadmap** mit klaren Ausbauzielen (2030/2035/2040) notwendig



Multimodaler CO₂-Transport

- Hochlauf erfordert **flexible Lösungen** (Schiff/Bahn), **Skalierung** ab kritischer Menge je nach Standort via Pipeline
- Pipeline langfristig ökonomisch vorteilhaft, aber nur mit gesicherter Auslastung (**Henne-Ei-Problem**)
- **CO₂-Export** kurzfristig zentral, langfristig auch nationale Speicheroptionen möglich
- **Multimodale Lösungen** bleiben strukturell relevant; Infrastrukturbedarf durch **Standorte** geprägt
- Frühzeitiger Aufbau zentraler **CO₂-Hubs** (Clusterlösungen) und **grenzüberschreitender** Anbindung (Nordsee)
- **Technische Standards** für multimodale Schnittstellen definieren

Erfolgreicher Hochlauf
erfordert ein
koordiniertes
Systemdesign aus
Förderung, Infra-
strukturplanung und
Risikoabsicherung
– keine isolierten
Einzelmaßnahmen.

5 Zentrale Handlungsempfehlungen



1. No-regret-Korridore festlegen und prioritär entwickeln



2. Förderung konsequent auf No-regret-Korridore und multimodale Lösungen ausrichten



3. Mindestens einen CO₂-Hub an der Nordsee aufbauen



4. De-risking-Maßnahmen für First-Mover-Projekte schaffen



5. Koordination zwischen Bund, Ländern, Marktakteuren und Partnerländern institutionalisieren

1. No-regret-Korridore festlegen und prioritär entwickeln

Einordnung: Ein rein pipelinebasierter Hochlauf ist nicht realistisch. Multimodale Lösungen (Zug, Hubs, spätere Pipelines) sind Voraussetzung für frühe Projekte und müssen politisch als Gesamtsystem gedacht werden. Früh definierte CO₂-Korridore schaffen Pfadklarheit, reduzieren Henne-Ei-Probleme und ermöglichen Investitionsentscheidungen.

Anforderungen:

- **Fokus** auf hohe Emissionsdichte, industrielle Relevanz und Realisierbarkeit (z. B. Delta-Rhein)
- **Multimodalität als Systemprinzip:**
 - Zug als Enabler
 - Pipeline bei ausreichenden Mengen/Auslastung
 - CO₂-Hubs als Knoten für Bündelung, Resilienz und Integration
- **Vom Ziel her denken:** Pipelines, wo auch Einspeisung in Speicher möglich, sonst Zug/Multimodalität
- Keine vollständige Netzfestlegung vorab – **erst Pfadklarheit, dann Ausbau**
- Korridorentscheidungen schaffen **Planbarkeit** für Emittenten, Betreiber und Finanzierer
- Lösungen für **Standorte außerhalb von Clustern/Korridoren** parallel entwickeln

Zielbild: Ein investierbarer Erwartungsraum entlang der gesamten CCS-Wertschöpfungskette

2. Förderung auf No-regret-Korridore und multimodale Transportlösungen ausrichten

Einordnung: CCS-Projekte erfordern derzeit umfassende staatliche Förderung und sind ohne diese mittelfristig nicht wirtschaftlich. Infrastruktur benötigt ausreichende Mengen und gesicherte Auslastung, während ein flächendeckender Ausbau deutlich >10 Jahre dauert. Breite Förderansätze sind daher nicht zielführend – ein fokussierter, systemischer Ansatz ist erforderlich.

Anforderungen:

- Förderung über Einzelinstrumente (z. B. CCfDs) hinaus **zu systemischer Förderung weiterentwickeln**
- Fokus auf **nicht vermeidbare Emissionen und realisierbare Projekte**
- Projekte **nur im Einklang** mit definierten No-regret-Korridoren/multimodalen Transportlösungen **fördern**
- Langfristige **Planungshorizonte** und **Vertragslaufzeiten** für Infrastruktur berücksichtigen
- Förderung (und Regulierung) sollte **Transportmodi-/Technologiewechsel** (z. B. Zug → Pipeline) nicht bestrafen
- Förderung folgt der Systemlogik – nicht umgekehrt

Zielbild: Zielgerichtete, systemische Förderung, die einen planbaren Hochlauf ermöglicht

3. Mindestens einen CO₂-Hub an der Nordsee aufbauen

Einordnung: Ein nationaler CO₂-Hub erhöht die Resilienz, reduziert Abhängigkeiten von Exportkapazitäten im Ausland und kann langfristig die Systemkosten senken. Kurz- und mittelfristig wird der Markthochlauf auf Exportoptionen angewiesen sein, da nationale Speicherlösungen frühestens in 10-15 Jahren zur Verfügung stehen. Dafür braucht es frühzeitig mindestens einen entwickelten, multimodal angebundenen CO₂-Hub an der Nordsee sowie klare Rahmenbedingungen und Zuständigkeiten für internationalen Transport. Ohne diesen Baustein bleibt die Wertschöpfungskette unvollständig.

Anforderungen:

- Mindestens einen Nordsee-Hub als großskaligen **Bündelungs-, Umschlag- und Resilienzknotten** priorisieren
- CO₂-Hub frühzeitig in **No-regret-Korridore** integrieren und **multimodal** ausrichten
- **Partnerländer** früh einbinden, um Transport- und Speicherlogik abzustimmen
- **Exportfähigkeit** durch **bilaterale Abkommen** und Operationalisierung internationaler Regelwerke (z. B. London-Protokoll) absichern
- Deutsche **Onshore- und Offshore-Speicheroptionen** frühzeitig prüfen – ohne den Hochlauf zu verzögern

Zielbild: Hub- und Exportstrukturen so abgesichert, dass der Markthochlauf nicht an Infrastruktur- oder Speicherengpässen scheitert.

4. De-risking-Maßnahmen für First-Mover-Projekte schaffen

Einordnung: Ohne gezielte Risikoabsicherung werden keine Investitionsentscheidungen (FIDs) getroffen. Zentrale Investitionsblocker sind nicht primär Kosten, sondern ungeteilte Risiken entlang der gesamten Wertschöpfungskette (Transport, Regulierung, Nachfrage). Unternehmen investieren nur, wenn diese Risiken nicht vollständig bei ihnen verbleiben.

Anforderungen:

- **Passgenaue De-risking-Instrumente** für First-Mover (z. B. Nachfrage-, Auslastungs- oder Absicherungsgarantien)
- Verlässlichen **CO₂-Preis** schaffen, der wirtschaftlich trägt
- **Schutz vor regulatorischen Änderungen** und Verzögerungen gewährleisten
- Politische **Verlässlichkeit** und stabile Zielpfade als Bestandteil der Wirtschaftlichkeit verankern

Zielbild: Erfolgreiche First-Mover-Projekte und stabile De-risking-Strukturen, auf die sich der Markt langfristig stützen kann

5. Koordination zwischen Bund, Ländern, Marktakteuren und Partnerländern institutionalisieren

Einordnung: Der Markthochlauf scheitert, wenn Bund, Länder, Marktakteure und Partnerländer nicht koordiniert entscheiden. Erforderlich ist eine belastbare Koordinierungsstruktur mit klaren Zuständigkeiten, Ausbauzielen und Entscheidungsfristen.

Anforderungen:

- Verbindliche **Roadmap** mit Ausbauzielen, Zuständigkeiten und Meilensteinen
- Abstimmung zwischen Bund, Ländern und Marktakteuren in einem festen **Steuerungsformat**
- **Grenzüberschreitende** Fragen früh in die Hochlaufsteuerung integrieren
- **Infrastrukturentscheidungen** an den **Bedarfen der Emittenten** ausrichten – nicht an Einzelinteressen (sie müssen CO₂ abscheiden, um Klimaziele zu erreichen; Fokus auf wirtschaftliche Interessen anderer Wertschöpfungsstufen gefährdet Hochlauf und Zielerreichung)

Zielbild: Verbindliche Hochlaufkoordination, die Entscheidungen an den Bedarfen der Emittenten ausrichtet und damit Infrastrukturaufbau, CO₂-Abscheidung und Klimazielerreichung absichert

Ihre Ansprechpartner



Sebastian Lübbers

Teamleitung Carbon
Management

Prognos Berlin
Goethestraße 85
10623 Berlin

Tel.: +49 162 291 94 53

E-Mail: sebastian.luebbers@prognos.com
www.linkedin.com/in/sebastianluebbers



Dr. Fabian Muralter

Themenleitung Szenarien
und Industrie

Prognos Wien
Hasengasse 12
1100 Wien

Tel.: +49 170 579 29 61

E-Mail: fabian.muralter@prognos.com
www.linkedin.com/in/fabianmuralter

Impressum

Kontakt

Prognos AG
Goethestraße 85
10623 Berlin
Deutschland

Telefon: +49 30 52 00 59-210
Fax: +49 30 52 00 59-201
E-Mail: info@prognos.com
X: [Prognos AG](#)
LinkedIn: [@Prognos_AG](#)

www.prognos.com

Disclaimer

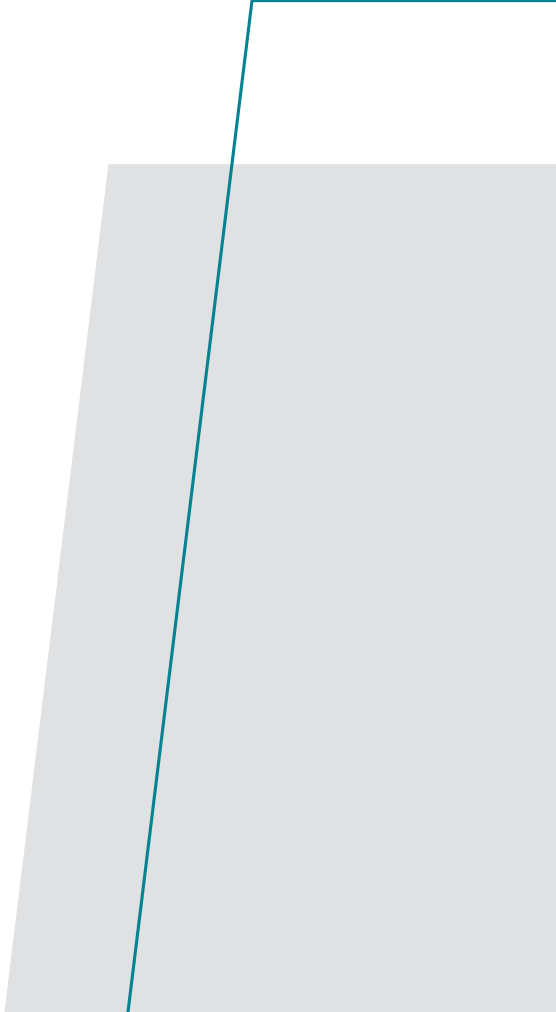
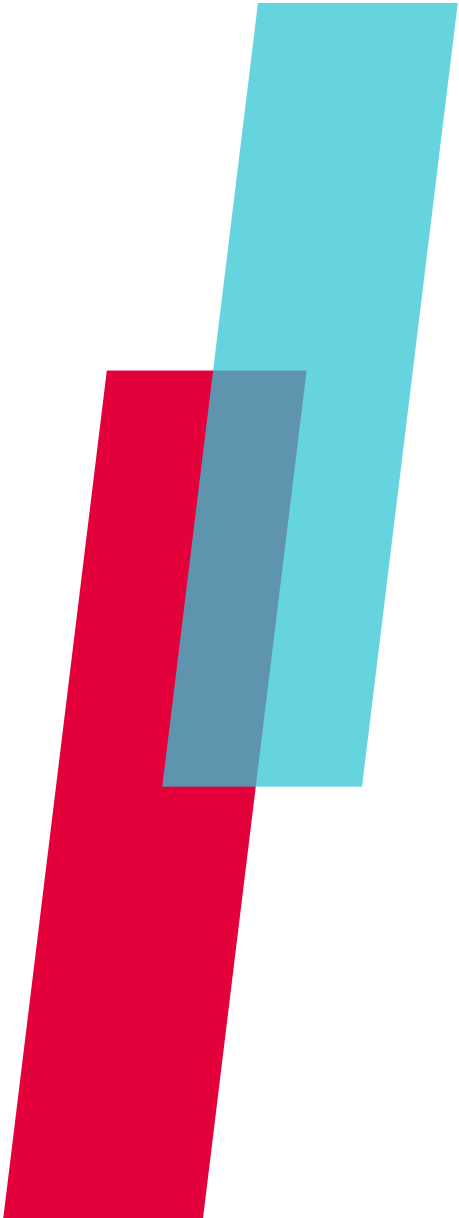
Alle Inhalte dieses Werkes, insbesondere Texte, Abbildungen und Grafiken, sind urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt, soweit nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, bei der Prognos AG. Jede Art der Vervielfältigung, Verbreitung, öffentlichen Zugänglichmachung oder andere Nutzung bedarf der ausdrücklichen, schriftlichen Zustimmung der Prognos AG.

Fotos der Mitarbeitenden, soweit nicht anders gekennzeichnet, von:
Prognos AG/Annette Koroll Fotos

KI-Disclaimer

Denken Sie an einen entsprechenden KI-Disclaimer. Formulierungen finden Sie auf dem Helpdesk unter [KI Charta | Prognos AG Helpdesk](#)

16.06.2026



prognos

**Enabling progress.
With evidence.**

Annex I

Annahmen für die Berechnung der Investitionsbedarfe

CCS-Schritt	Spezifikation	Einheit	Annahmen
Pipeline	Hauptleitung, DN 700	EUR/m	5.490
Pipeline	Anschlussleitung, DN 400	EUR/m	4.050
Verdichterstation	10-20MW	Mio. EUR/Anlage	60
Verdichterstation	Abstand zwischen Verdichtern	km	400
Kesselwagen	63,7 tCO ₂ /Kesselwagen	Mio. EUR	0,5
Ganzzug	1 Lokomotive	Mio. EUR	5
Ganzzug	Anzahl Kesselwagen pro Ganzzug	Anzahl	32, rund 2ktCO ₂ / Ganzzug
Ganzzug	Umlaufzeit pro 500 km	Tage	3
Hub	1 Mt CO ₂ /a	Mio. EUR	90
Inflation		%/a	2

Annahmen für die Berechnung der CCS-Vermeidungskosten

CCS-Prozesskette	Einheit	spez. Kosten (EUR/tCO ₂) min	spez. Kosten (EUR/tCO ₂) med	spez. Kosten (EUR/tCO ₂) max
Abscheidung, inkl. Komprimierung Zement & Kalk	EUR/tCO ₂	50	75	100
Abscheidung, inkl. Komprimierung MVA & EBS	EUR/tCO ₂	70	100	130
Pipeline	EUR/tCO ₂ /500km	20	32.5	45
	EUR/tCO ₂ /km	0.04	0.065	0.09
Zug	EUR/tCO ₂ /500km	20	50	79
	EUR/tCO ₂ /km	0.04	0.099	0.158
CO ₂ -Hub	EUR/tCO ₂	15	19	22
Speicherung	offshore, inkl. Abtransport	40	95	150

med-Fall für die Berechnung der CCS-Vermeidungskostenkurven ausgewählt

Ergebnisübersicht für die 2 Varianten in 3 Wellen

		Variante 1			Variante 2		
Transportmodus	Einheit	1. Welle	2. Welle	3. Welle	1. Welle	2. Welle	3. Welle
Pipeline Transportmengen	MtCO ₂ /a	3	21	41	1	12	25
Zug Transportmengen	MtCO ₂ /a	1	6	6	4	14	7
<i>Gesamt Transportmengen</i>	<i>MtCO₂/a</i>	<i>5</i>	<i>26</i>	<i>47</i>	<i>5</i>	<i>26</i>	<i>32</i>
Hauptleitung	km	238	509	3.218	24	216	813
Anschlussleitung	km	42	298	745	8	148	349
<i>Gesamt</i>	<i>km</i>	<i>280</i>	<i>807</i>	<i>3.963</i>	<i>32</i>	<i>364</i>	<i>1.162</i>
Kesselwagen	Anzahl	151	613	645	409	1.538	753
Ganzzüge	Anzahl	5	19	20	13	48	24
Ganzzugladungen	Anzahl	687	2.796	2.943	1.864	7.015	3.434
CO ₂ -Hub Kapazitäten in MtCO ₂ /a	Wilhelmshaven	4	4	4	4	10	10
	Brunsbüttel	1	1	1	1	1	1
	Bremen	0	1	1	0	1	1
	Hamburg	0	1	1	0	2	2
	<i>Gesamt</i>	<i>5</i>	<i>7</i>	<i>7</i>	<i>5</i>	<i>14</i>	<i>14</i>
Ganzzugladungen	Wilhelmshaven	549	1.598	1.682	1.491	5.011	2.453
pro Hub pro Jahr	Brunsbüttel	137	399	420	373	501	245
	Bremen	0	399	420	0	501	245
	Hamburg	0	399	420	0	1.002	491
Investitionen	Pipeline	1.696	4.923	28.650	246	2.224	8.063
Kumuliert in Mio. Euro	Zug	128	597	639	345	1.493	1.493
	Hub	507	740	740	507	1.555	1.555
	<i>Gesamt</i>	<i>2.330</i>	<i>6.260</i>	<i>30.029</i>	<i>1.098</i>	<i>5.271</i>	<i>11.111</i>

Liste der Fachgespräche

Unternehmen	Branche	Kontakt	Termin
TES	CO ₂ -Hub	Birte Falch / Baptiste Légeret	19.03.2026
EEW	TAB	Sarah Endres	25.03.2026
Lhoist	Kalk	Martin Volmer	26.03.2026
VTG	CO ₂ -Transport Zug	Julius Franke / Luca Giebeler	27.03.2026
OGE	CO ₂ -Transport Pipeline	Martin Frings	02.04.2026 / 26.05.2026
DB Infrago	CO ₂ -Transport Zug	Pascal Steidel	21.04.2026
WHV Energy Hub	CO ₂ -Hub	Yannis Fischer	21.04.2026

Annex II

1. Welle: Markteintrittsphase, erste FOAK-Projekte gehen an den Start

Variante 1: CO₂-Kernnetz

- Die ersten, geförderten Projekte setzen auf Pipeline, Zug nur für das CCS-Projekt in Rüdersdorf
- Start in NRW aufgrund der großen und konzentrierten Emittenten. NRW ist im Bereich des Carbon Managements sehr fortgeschritten mit eigener Carbon Management-Strategie und Abscheidungs- und Transportprojekten.
- Delta-Rhein-Korridor-Projekt angenommen, weil
 - gefördert über EU (CEF) und hat PCI-Status
 - politisch unterstützt durch Land NRW und niederländische Regierung
 - weit vorangeschritten (Machbarkeits-/Planungsphase und Genehmigungsverfahren), FID wird Ende der 20er-Jahre erwartet
 - eigene Speicherprojekte (z. B. Aramis und Porthos)
 - GÜP Venlo weist Nähe zu Emittenten im Ruhrgebiet auf
- Aufbau von zwei CO₂-Hubs:
 - Brunsbüttel als Einzelprojekt für das Zementwerk Lägerdorf
 - Wilhelmshaven als einziger Tiefseehafen bietet eine ganzheitliche nationale Lösung und gute Voraussetzungen sowohl für den CO₂-Export zu CO₂-Speichern im Ausland als auch für die Speicherung in der deutschen AWZ.
- Hohe spezifische Transportkosten mit (noch) geringer Auslastung
- Transporteffizienz von 12 ktCO₂/km

Variante 2: Multimodalität

- Die ersten, geförderten Projekte setzen auf den Zugtransport, CCS-Projekt Lägerdorf wird mit einer Einzelpipeline angebunden.
- Höherer Bedarf für Ganzzugladungen
- Aufbau von zwei CO₂-Hubs (Brunsbüttel und Wilhelmshaven)
- Projekte, die anfangs auf den Zug gesetzt haben, können in der zweiten bzw. dritten Welle auf den Pipelinetransport umstellen.
 - Züge können z. B. nach 5 Jahren zu anderen Werken umgeleitet werden (eher 2. Welle).
 - Langfristige Mietvertragsmodelle laufen nach 15 Jahren aus, danach Wechsel auf Pipeline möglich (eher 3. Welle).

2. Welle: Skalierungs- und Konsolidierungsphase

Variante 1: CO₂-Kernnetz

- Hybridstruktur mit wachsendem Pipeline-Anteil, es werden mehr Emittenten an der Hauptleitung aus der 1. Welle in NRW angeschlossen und die Hauptleitung wird in Richtung Südwesten weiterentwickelt.
- In Ludwigshafen am Rhein, mit BASF als größtem Chemiestandort Europas, potenziellem Nutzer von CO₂ und zentralem Knotenpunkt im Südwesten, endet die Hauptleitung.
- Funktion des multimodalen Transports: Ergänzung und Flexibilisierung des Pipeline-Systems, Zugtransport für ausgewählte, dezentrale Standorte.
- Zunahme der Zugtransportmengen, aber Höhepunkt Ende der zweiten Welle erreicht
- Erweiterung und Aufbau von neuen CO₂-Hubs:
 - Bestand: Brunsbüttel, Wilhelmshaven
 - Neubau: Bremen und Hamburg, insb. für lokale CO₂-Mengen
- Steigende Transportvolumina führen zu sinkenden spezifischen Transportkosten.
- Hohe Transporteffizienz, da konzentrierte CO₂-Mengen insb. im Ruhrgebiet dazukommen (26 ktCO₂/km)

Variante 2: Multimodalität

- Starke Zunahme des Zugtransports (nötige Kapazitäten in Größenordnung bzw. etwas weniger als heutiger Kohletransport per Schiene)
- Die ersten Projekte in NRW, die zum Start auf den Zugtransport gesetzt haben, wechseln aus Kosten- und Mengengründen auf Pipeline.
- Pipelinetransport startet verzögert in NRW und verläuft wie im Delta-Rhein-Projekt
- Erweiterung und Aufbau von neuen CO₂-Hubs:
 - Bestand: Brunsbüttel, Wilhelmshaven
 - Neubau: Bremen und Hamburg, insb. für lokale CO₂-Mengen
- Zunahme der Zugtransportmengen, aber Höhepunkt Ende der zweiten Welle erreicht

3. Welle: Marktreife

Variante 1: CO₂-Kernnetz

- Pipeline-dominiertes System mit gezielter Multimodalität
- Multimodaler Transport nur noch für Randlagen, kleinere Quellen, Redundanz und Flexibilität
- Pipelines als Rückgrat des Systems (kosteneffizient für große Volumina und weite Distanzen)
- Zugtransportmengen aus der 2. Welle bleiben in der 3. Welle konstant, kein Zuwachs
- 90 % der betrachteten THG-Emissionen (52 MtCO₂) aus den Branchen Zement, Kalk und TAB wären in diesem System durch den CO₂-Transport abgedeckt; mehr als notwendig, um Klimaneutralität zu erreichen
- CO₂-Hubs Brunsbüttel, Wilhelmshaven, Bremen und Hamburg
- Nicht ausgeschlossen, dass auch Standorte, die im Korridor liegen, auch langfristig auf den Zugtransport setzen
- Bei einem groß angelegten CO₂-Kernnetz nimmt die Effizienz für den CO₂-Transport ab, da auch Regionen mit geringen CO₂-Mengen und großen Distanzen angeschlossen werden (0,01 MtCO₂/km)

Variante 2: Multimodalität

- Multimodale Infrastruktur mit Pipelineinfrastruktur vor allem im Nordwesten und Zug für übrige Standorte
- Zugtransportmengen nehmen in der 3. Welle ab, Pipeline wird weiter in Richtung Südwesten und Norden ausgebaut
- Am Ende der Hauptleitungen an zentralen Standorten (Umschlagplatz) wird CO₂ vom Zug in die Pipeline nachverdichtet und in die Hauptleitung eingespeist, Einsatz von Zugpendel für CO₂-Mengen aus dem Süden und Osten. Insgesamt sollten Phasenwechsel aus Kostengründen minimiert werden.
- Hub-Kapazitäten bleiben konstant, da CO₂ in der 3. Welle auch per Pipeline am CO₂-Hub ankommt.
- Hub in Wilhelmshaven wird auch über eine Pipeline angeschlossen, um CO₂ in großen Mengen zu exportieren oder in der deutschen AWZ zu speichern. Optimaler Fall CO₂ wird per offshore-Pipeline weitertransportiert (Phasenwechsel wird vermieden und Kosten reduziert).
- Beim Zugtransport greifen kaum Skaleneffekte und OPEX (insb. Energiekosten) dominieren. Daher ist er für große CO₂-Mengen und weite Distanzen teurer als Pipeline.