

Bewährtes neu denken

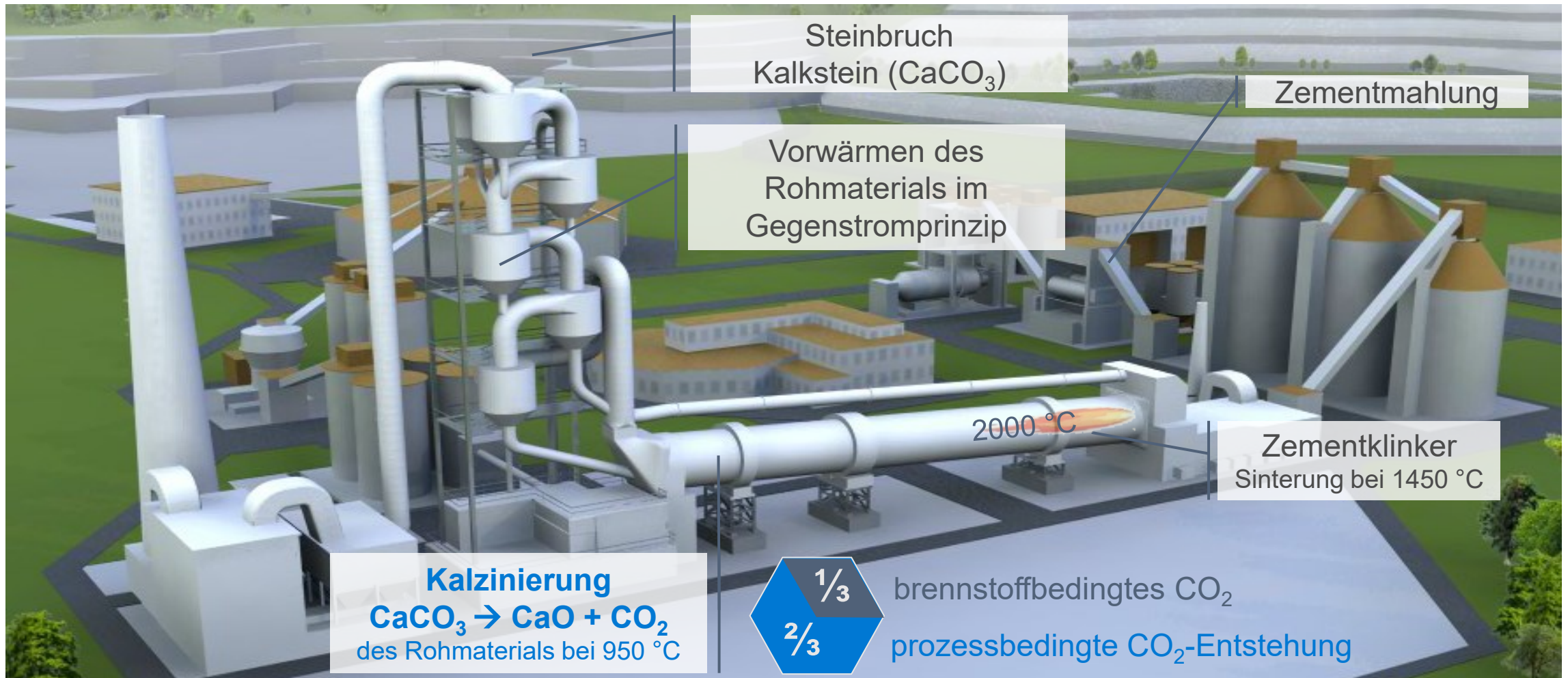
# Anforderungen an eine CO<sub>2</sub>- Infrastruktur in Deutschland

vdz

Johannes Ruppert, VDZ Technology  
Klimadiskurs NRW, CCUS in NRW  
Düsseldorf, 13.8.2024

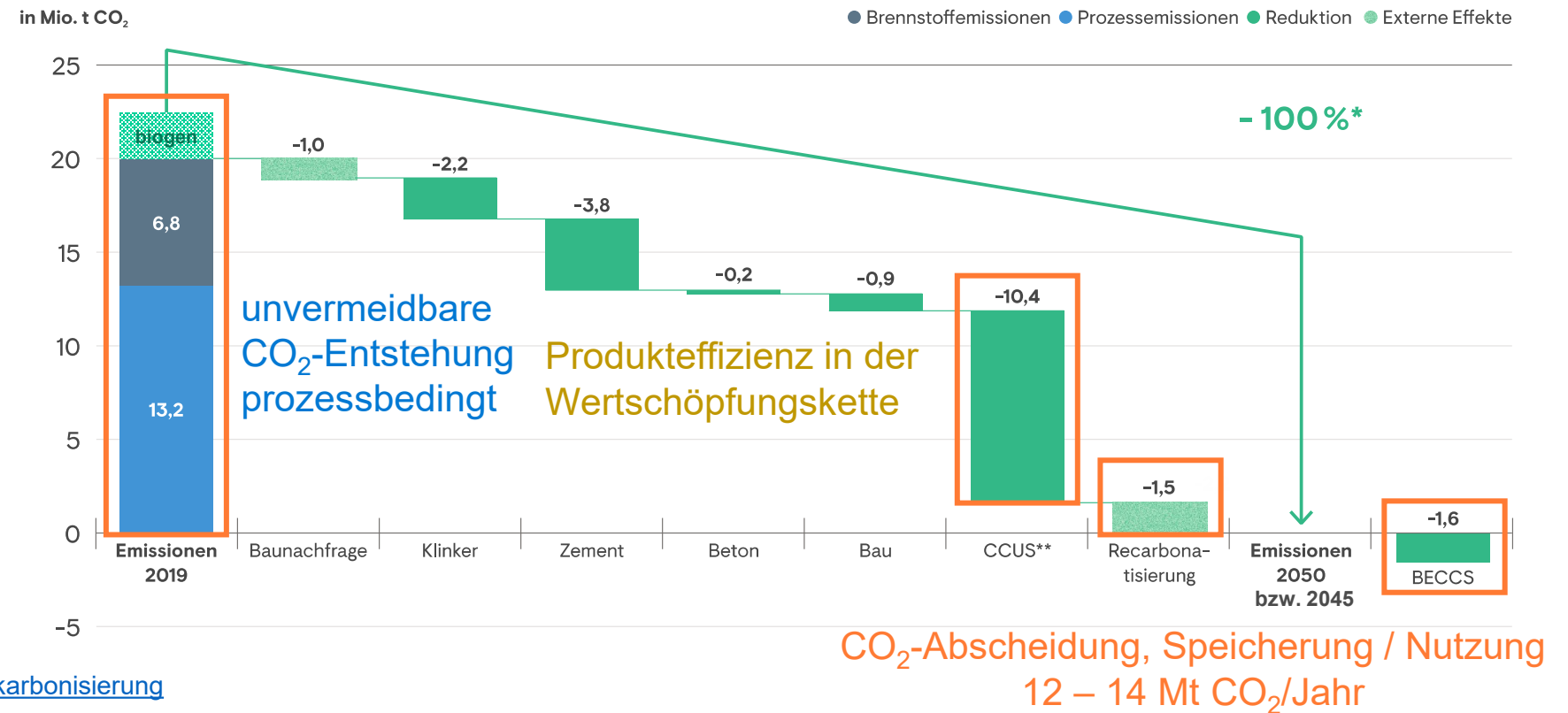


**SCI4CLIMATE**  
**.NRW**



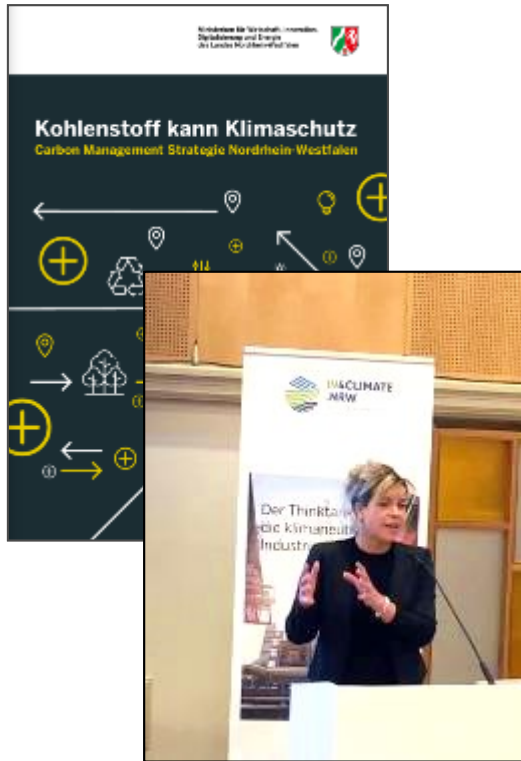
# Relevante CO<sub>2</sub>-Mengen der Zementindustrie für CCS/CCU

Heute und Perspektive zur Klimaneutralität in Deutschland



Quelle: VDZ, <https://www.vdz-online.de/dekarbonisierung>

Kohlenstoff kann Klimaschutz, CO<sub>2</sub> in einer klimaneutralen Grundstoffindustrie



- Vermeidung der Nutzung von fossilem Kohlenstoff in Industrieprozessen soweit möglich
- Nachhaltige Kohlenstoffnutzung: Sekundärrohstoffe, C-Recycling
- CO<sub>2</sub>-Management und Infrastruktur: CCX, CO<sub>2</sub>-Abscheidung, -Transport, - Nutzung (CCU) und soweit notwendig - Speicherung (CCS)
- Gesellschaftlicher Dialog, Akzeptanz für neue Technologien

<https://www.wirtschaft.nrw/carbon-management-strategie-nrw>

und In4Climate.NRW AG Kohlendioxidwirtschaft

## Hintergrund und Motivation für die Studie zur CO<sub>2</sub>-Infrastruktur



- CO<sub>2</sub>-Transport ist Schlüssel zur Dekarbonisierung von Zement und Beton
- Erste Ansätze erkennbar, bislang kein konsistentes Gesamtkonzept für relevante CO<sub>2</sub>-Quellen
- VDZ-Studie zur CO<sub>2</sub>-Infrastruktur soll Handlungsbedarf aus Industriesicht klar aufzeigen
- Input für nationale Carbon-Management-Strategie

Gas

# zfk+ Studie fordert zügigen Aufbau einer CO2-Infrastruktur in Deutschland

An der CO2-Abscheidung, -Speicherung und -Nutzung führe in Deutschland kein Weg vorbei, so die VDZ-Analyse. Die Politik müsse nun anstellen.

## STAATSANZEIGER

Veröffentlichung für: (Wirtschaftswoche, FAZ) und Veröffentlichung in: (Industriezeitung)

Dekarbonisierung

### CO2-Netz für ganz Deutschland kostet rund 14 Milliarden Euro

Für die geplante unterirdische Speicherung von CO2 muss ein neues Leitungsnetz gebaut werden. Die Kosten für ein nationales CO2-Transportnetz, das die Kohle- und Gaskraftwerke mit den industriellen CO2-Quellen und den CO2-Speichersites verbindet, werden auf 14 Milliarden Euro geschätzt. Die Kosten für die CO2-Transportinfrastruktur sind nun ermittelt.

NEWS | CCS

Letzte Aktualisierung: 27. März 2024

### CO2-Speicherung: Zementindustrie drängt auf schnellen Bau eines Leitungsnetzes

TABLE ESG

18.03.2024, 16:32

Netzausbau

### Industrie trommelt für CO2-Transportnetz bis 2035

Düsseldorf (energate) - Die wohl energieintensivsten Industriezweige des Landes werden bei der Dekarbonisierung (CCS) verzichten können. Der VDEH fordert ein nationales CO2-Transportnetz mit mehr als 1000 km Länge. Der Branchenverband der Zementindustrie fordert, dass das Netz bis spätestens 2035 fertiggestellt ist. Die Kosten für die CO2-Transportinfrastruktur sind nun ermittelt.

WDR 5

00:00

▶ ⏮ ⏭

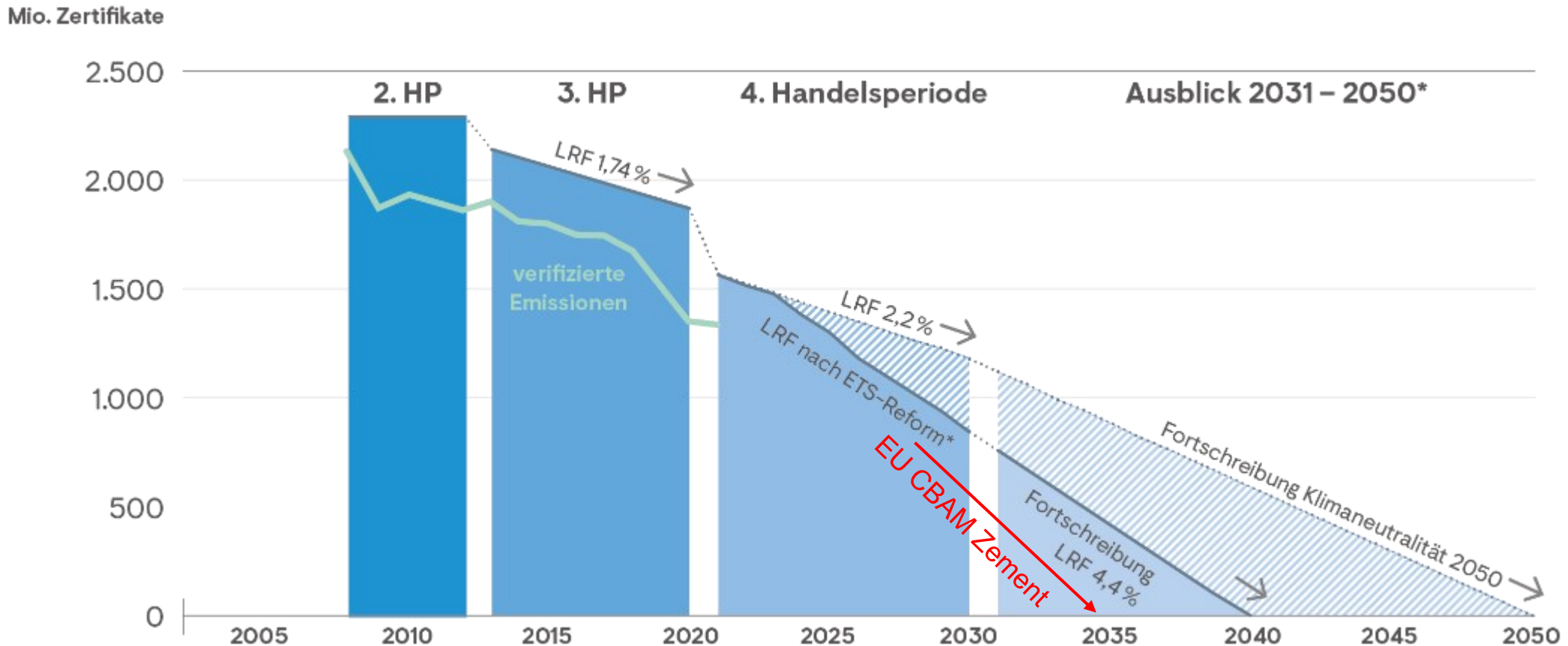
Ohne Alternative? CO2-Strategie für klimaschädliche Industrien

WDR 5 Das Wirtschaftsmagazin - aktuell | 18.03.2024 | 08:23 Min. | Verfügbar bis 18.03.2025 | WDR 5



# Carbon Management – Die Zeit drängt ...

Minderungspfad des EU-Emissionshandels erfordert „Net Zero“ um das Jahr 2040

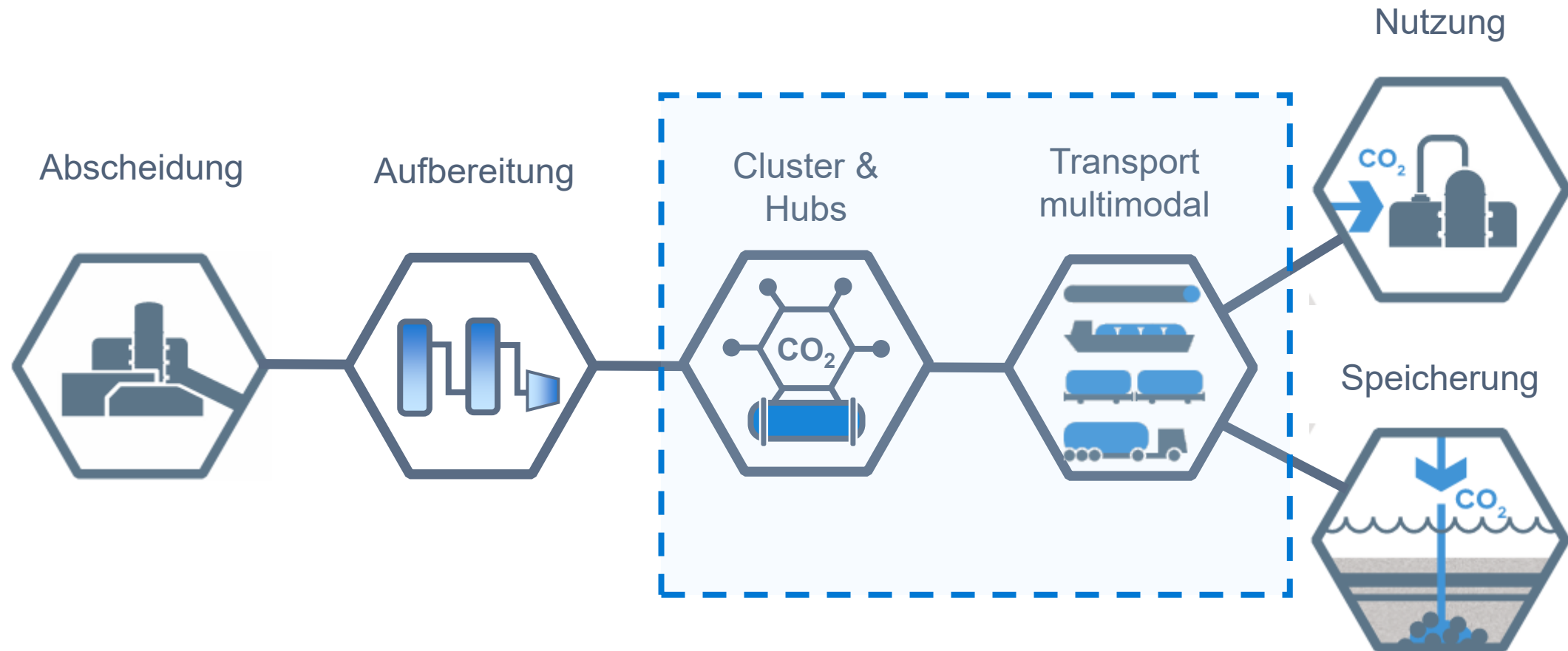


Quellen: VDZ auf Basis von Umweltbundesamt, EU-Kommission, EU-ETS-Richtlinie

\* Annahmen für Projektion: Fortschreibung ursprünglicher Minderungspfad (linearer Reduktionsfaktor LRF 2,2 % p.a.) mit Klimaneutralität im EU ETS bis 2050; Fortschreibung des aktuellen Minderungspfads im EU ETS (LRF 4,3 % ab 2024 und 4,4 % p.a. ab 2028) führt zu Klimaneutralität um das Jahr 2040. Nicht berücksichtigte Effekte: Marktstabilitätsreserve, Einbeziehung Abfallverbrennungsanlagen ab 2028, mögliche Einbeziehung des ETS 2 (Verkehr, Gebäude, übrige Industrieanlagen); mögliche Anrechnung von Negativemissionen

# Carbon Management – die gesamte CCUS-Kette im Blick

Leitgedanke und Fokus der VDZ-Studie



## Leitfragen

- Wie entwickeln sich unvermeidbare CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Sektoren Zement, Kalk und Abfallverbrennung?
- Wie muss sich die CO<sub>2</sub>-Abscheidung zeitlich und geografisch entwickeln?
- Welcher Bedarf an Infrastruktur ergibt sich daraus für den CO<sub>2</sub>-Transport?
- Welche Voraussetzungen müssen für einen schnellen Aufbau der CO<sub>2</sub>-Infrastruktur erfüllt sein?
- Online abrufbar unter [www.vdz-online.de/co2-infrastruktur](http://www.vdz-online.de/co2-infrastruktur)



## Aufbau und Methodik



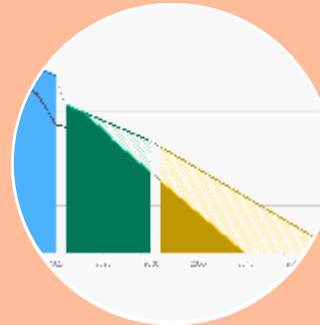
**CO<sub>2</sub>-Quellen:**  
Zement, Kalk,  
Abfallverbrennung  
(AVA) in  
Deutschland



**CO<sub>2</sub>-Transport:**  
Multimodal  
(Leitungen,  
Schiene, Schiff), in  
Deutschland inkl.  
Transitmengen



**CO<sub>2</sub>-Senken:**  
Speicherprojekte in  
Europa und Hubs  
  
Perspektiven zur  
Nutzung



**Meilensteine:** 2030,  
2035, 2040, 2045  
  
2 Szenarien  
Klimaneutralität  
2040 und 2045



**Hochlauf CO<sub>2</sub>-  
Abscheidung:**  
Bottom-up & Top-  
down  
  
CCS, BECCS, CCU

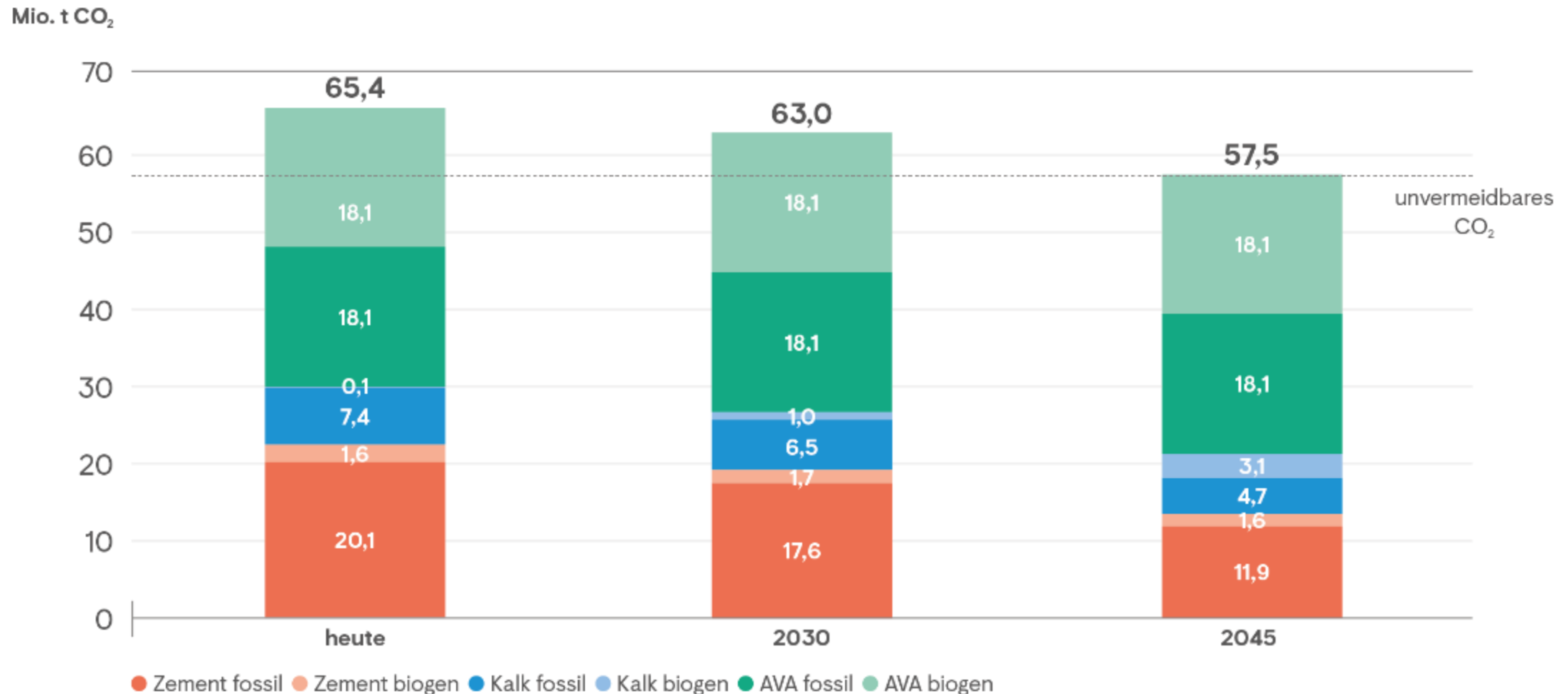


**Zusätzliche  
Energiebedarfe für  
Carbon Capture**

Welche Infrastrukturbedarfe ergeben sich für den CO<sub>2</sub>-Transport?

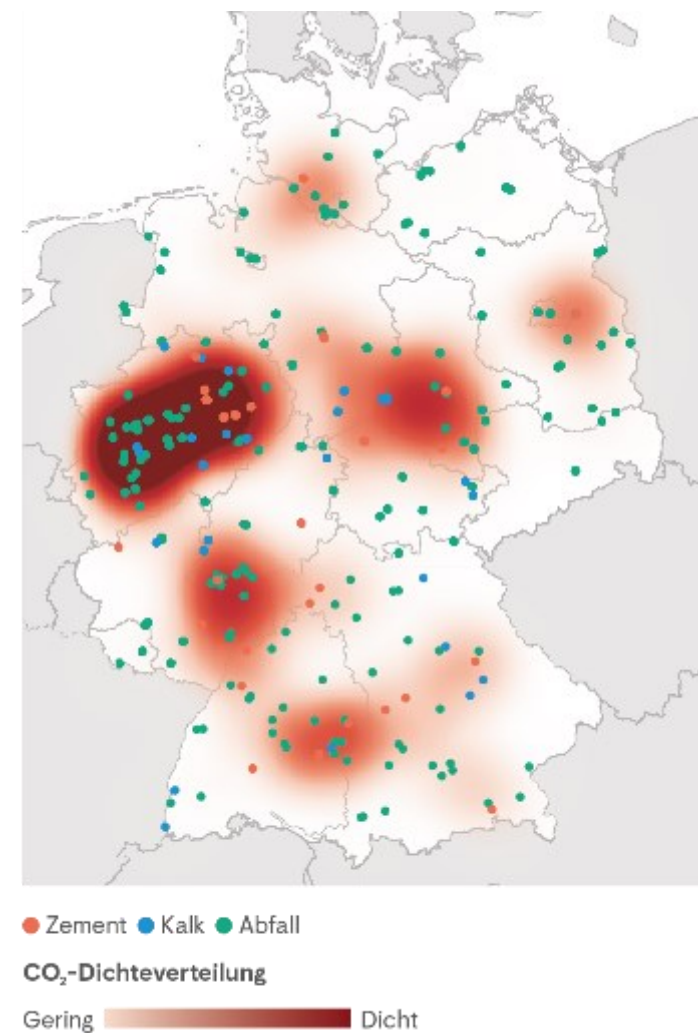
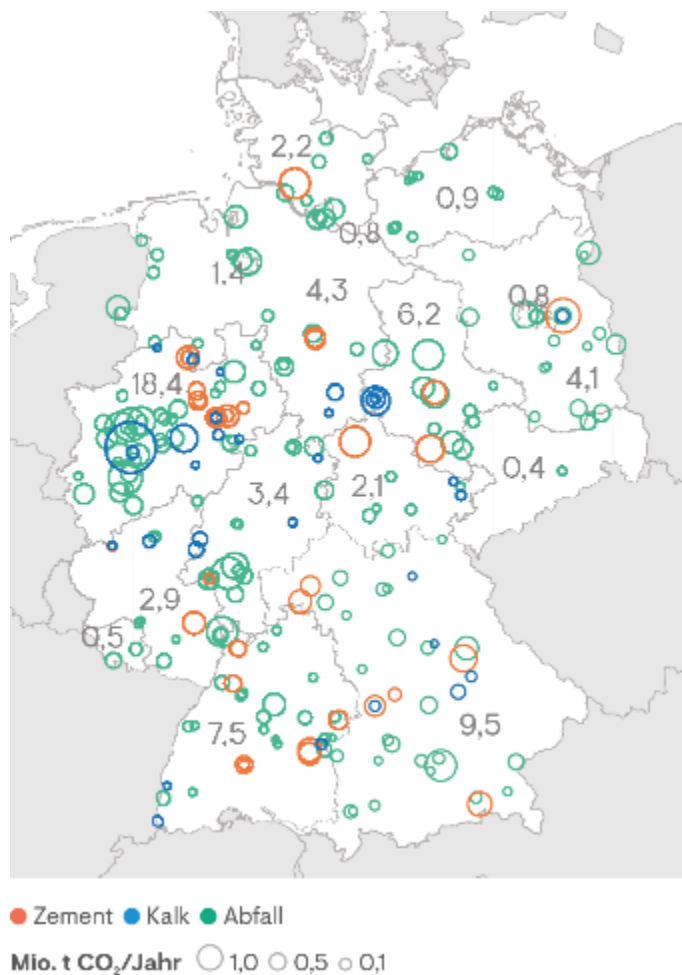
# CO<sub>2</sub>-Entstehung im Zeitverlauf

Wie viel unvermeidbares CO<sub>2</sub> ist langfristig zu erwarten?



# Geografische Verteilung der CO<sub>2</sub>-Emissionen (heute)

Zement, Kalk und Abfallverbrennung



Quellen: VDZ, VDZ CO<sub>2</sub>-Roadmap, EU-ETS, E-PRTR, BV Kalk, ITAD  
Anmerkung: Zahlen = Absolute CO<sub>2</sub>-Mengen je Bundesland

Transportaufwand bei Pipelines am geringsten

- Verschiedene Transportoptionen möglich
  - kontinuierlich via Pipeline
  - diskontinuierlich via Schiff, Bahn, Lkw
- Diskontinuierliche Prozesse erfordern Nachverdichtung sowie Zwischenspeicherung
- Technische Anforderungen variieren je nach Transportoption (Druck, Temperatur)
- Transport großer CO<sub>2</sub>-Mengen per Pipeline am effizientesten
- Zug und ggf. Schiff in bestimmten Fällen relevant

## Vergleich CO<sub>2</sub>-Transportaufwand nach Medium für 1 Mio. t CO<sub>2</sub>

1 Pipeline



50 Schiffsladungen (marin)  
250 Binnenschiffe



600 Zugladungen mit jeweils 30 Waggons



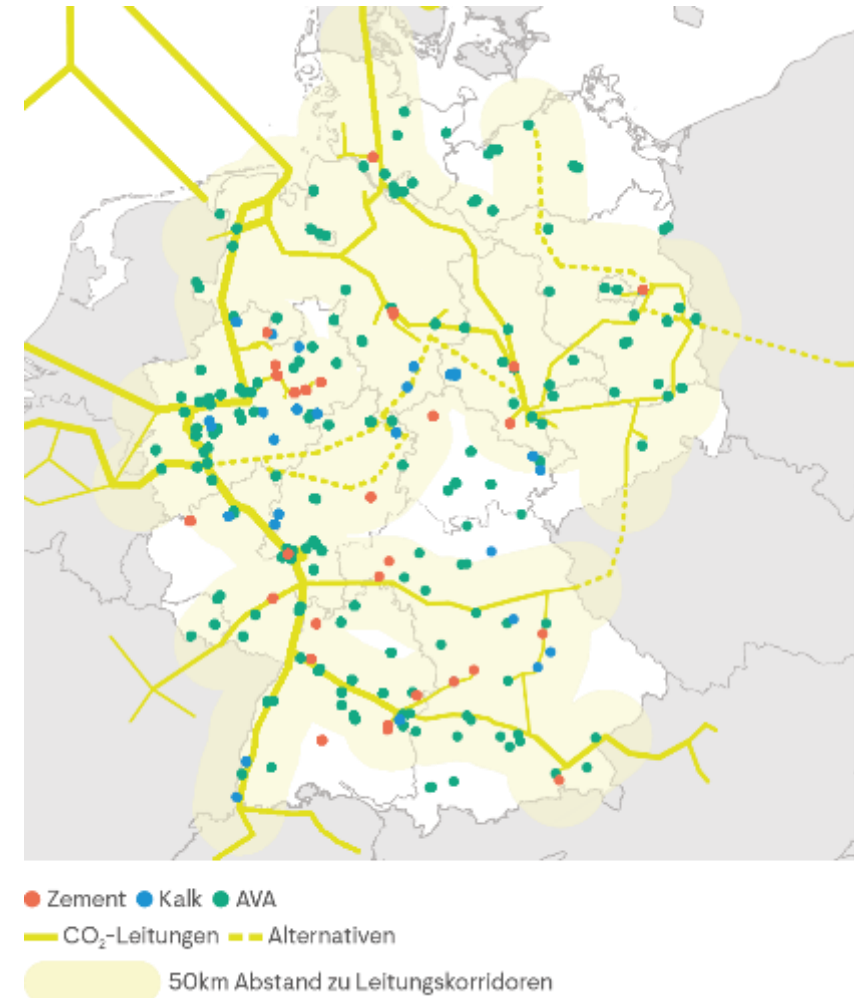
oder  
50.000 Tankwagen



# Ein CO<sub>2</sub>-Leitungsnetz für Deutschland

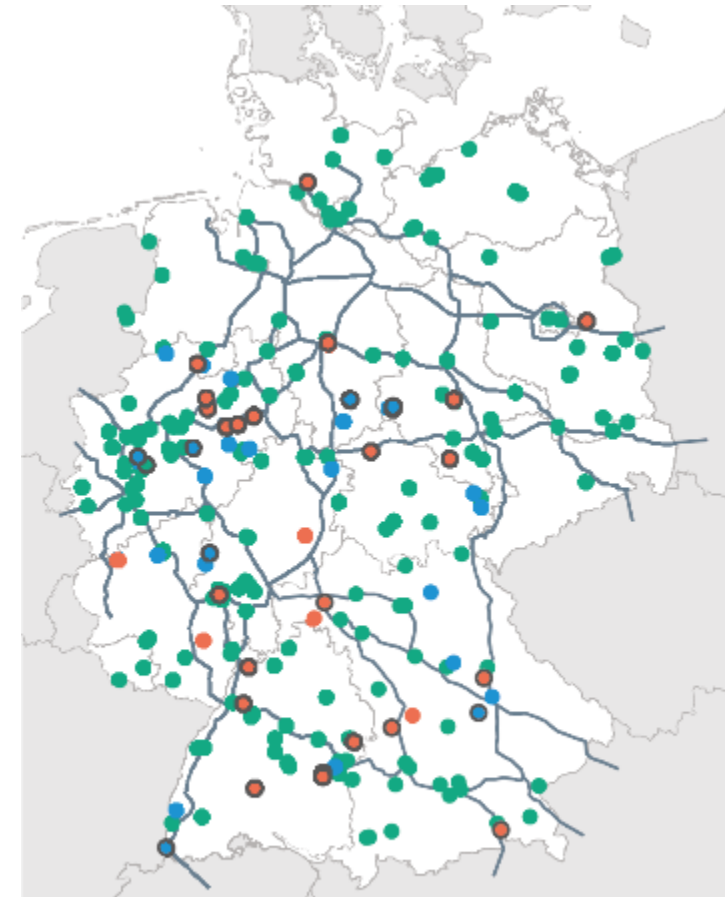
Netzanbindung eines Großteils der CO<sub>2</sub>-Quellen möglich

- CO<sub>2</sub>-Netz mit einer Länge von ca. 4.800 km erforderlich
- Errichtung bis spätestens 2035
  - teils parallel zu Wasserstoffnetz
  - Erdgasleitungen aus technischen Gründen in der Regel nicht nutzbar
- Fast alle Zement- und Kalkwerke sowie viele Abfallverbrennungsanlagen in Abstand von ca. 50 km zu geplanten Korridoren
- Standortspezifische Bewertung eines Anschlusses erforderlich



## Korridore und Gleisanschlüsse

- Gleisanschluss heute:
  - 27 von 33 Zementwerken
  - 11 von 33 Kalkwerken
- Meist zusätzliche Rangier- und Ladegleise notwendig („letzte Kilometer“)
- Herausforderungen: Umladung des CO<sub>2</sub> an Übergabepunkten, Bahnstreiks
- Gleis Ausbau für AVAs im urbanen Raum oft schwierig aufgrund von Platzmangel
- Standortspezifische Bewertung erforderlich



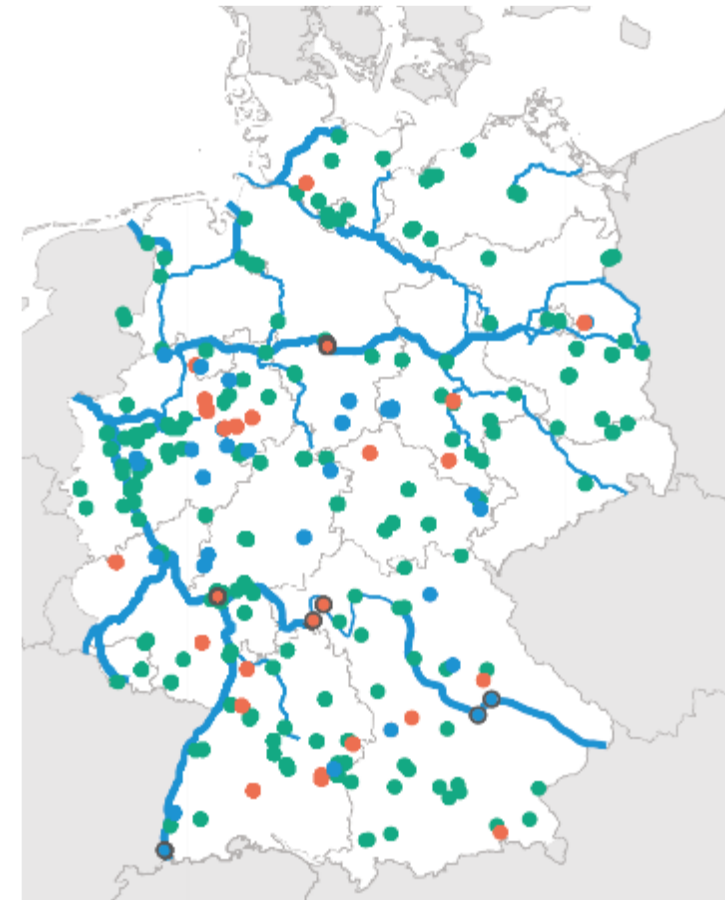
● Zement ● Kalk ● Abfall  
○ Gleisanschluss vorhanden

## Wasserwege und Werksanbindungen

- Zementwerke mit Hafenanschluss
  - Hannover, Höver, Wiesbaden, Lengfurt, Karlstadt
- Kalkwerke in Flussnähe
  - Walhalla, Istein, Saal
- Herausforderung: u.a. Niedrig-/Hochwasser
- Standortspezifische Bewertung erforderlich

## CO<sub>2</sub>-Export / Nordseehäfen

- Seeschiffstransport kann schon vor 2030 beginnen



● Zement ● Kalk ● Abfall  
○ Hafenanschluss vorhanden — Wasserstraßen

## Überblick geplanter Projekte



● Projekte mit geplanter CO<sub>2</sub>-Speicherung ab 2030

● Mögliche weitere CO<sub>2</sub>-Speicherstätten

● Geplante und mögliche CO<sub>2</sub>-Hubs

## CO<sub>2</sub>-Speicherprojekte 2030

- 36 geplante Projekte
- 110 Mio. t CO<sub>2</sub>/a
- davon EU: 35 Mio. t CO<sub>2</sub>/a

## Mögliche weitere CO<sub>2</sub>-Speicherstätten

- 13 Standorte
- > 20 Mio. t CO<sub>2</sub>/a Deutsche Nordsee

## Geplante und mögliche CO<sub>2</sub>-Hubs

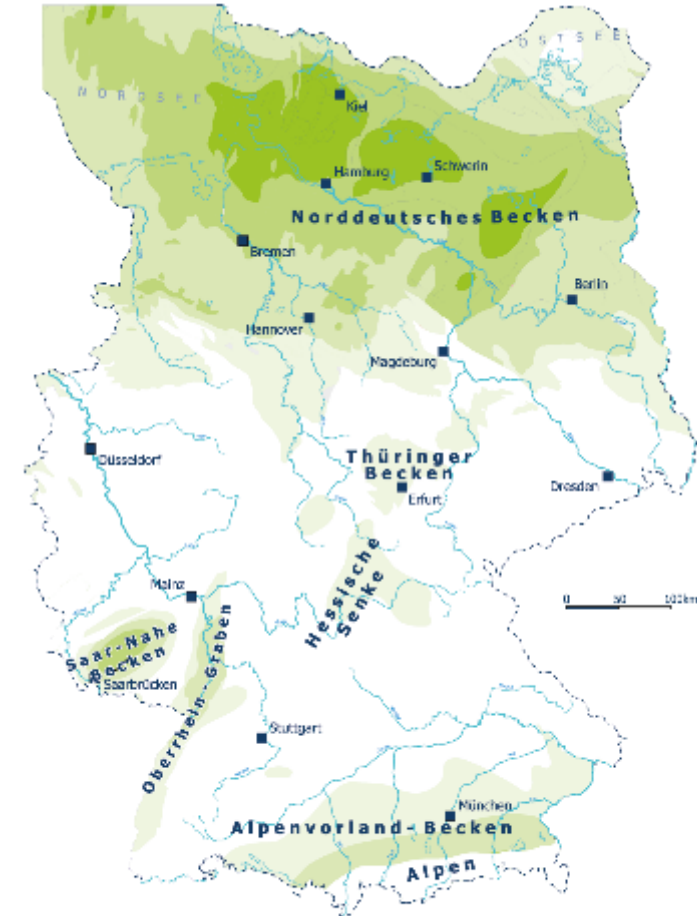
- > 125 Mio. t CO<sub>2</sub>/a Transitkapazität

Quellen: VDZ, IOGP, Projektwebseiten

Anmerkung: Speicherprojekte in Europa beziehen sich auf EU, Norwegen, Island und UK

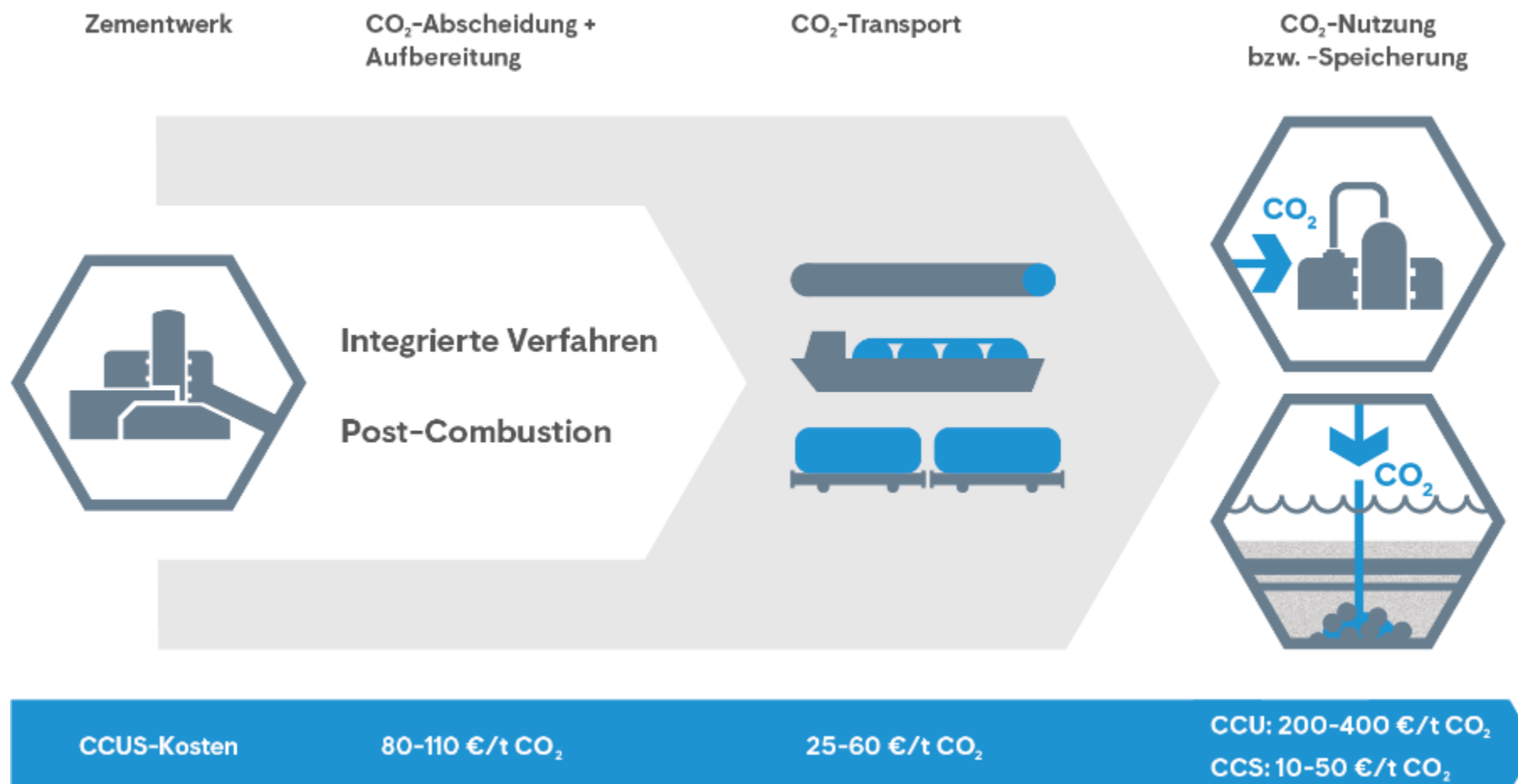
Möglichkeiten unter der deutschen Nordsee sowie dem Festland

- Offshore-Speicherpotenzial unter der deutschen Nordsee: ca. 1,9 bis 10,4 Mrd. t CO<sub>2</sub>
- Speicherkapazität bei anfänglich etwa 20 Mio. t CO<sub>2</sub> p.a. – mittelfristig deutlich mehr
- CO<sub>2</sub>-Speicherung auch unter dem deutschen Festland möglich
  - geeignete Gesteinsformationen vorhanden
  - deutlich kostengünstiger als Offshore-Speicherung
  - Zugang zu Speichern für küstenferne CO<sub>2</sub>-Quellen
  - Verantwortung eines Industrielandes für eigene Lösungen
  - Geringere Abhängigkeit von Drittstaaten beim Klimaschutz



Mächtigkeit der Sedimentgesteine (tiefliegende und Salzwasser führende Speichergesteine (Aquifere))

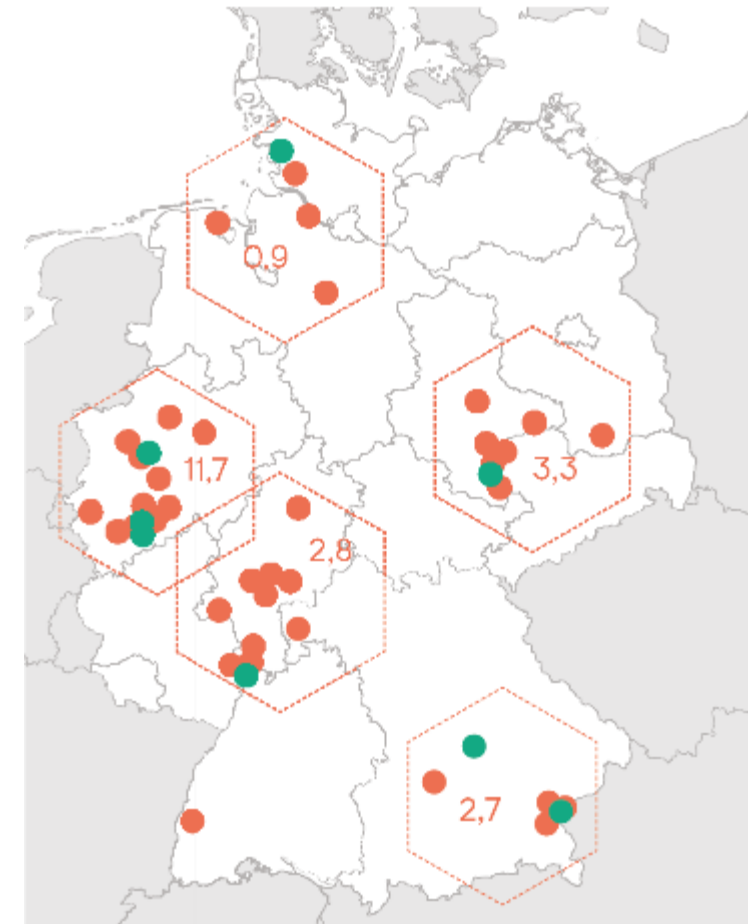
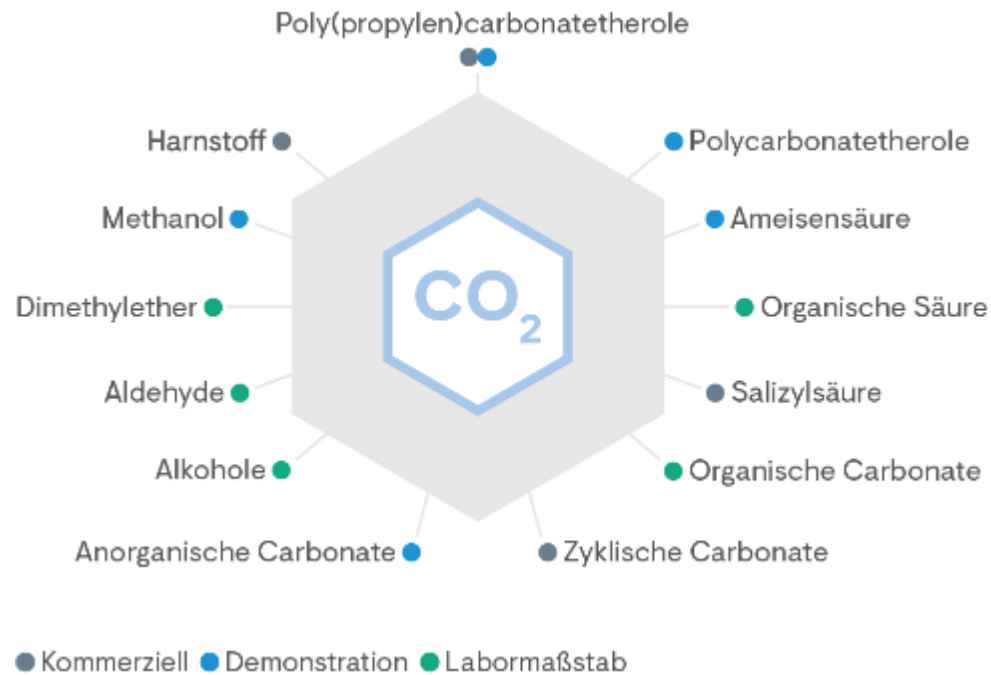
1 km 3 km 5 km 7 km 9 km



**Summiert für CCS mindestens 115 bis 220 €/t CO<sub>2</sub>**

# CO<sub>2</sub>-Nutzung in der chemischen Industrie

## Regionale Verteilung des möglichen CO<sub>2</sub>-Bedarfs ab 2045



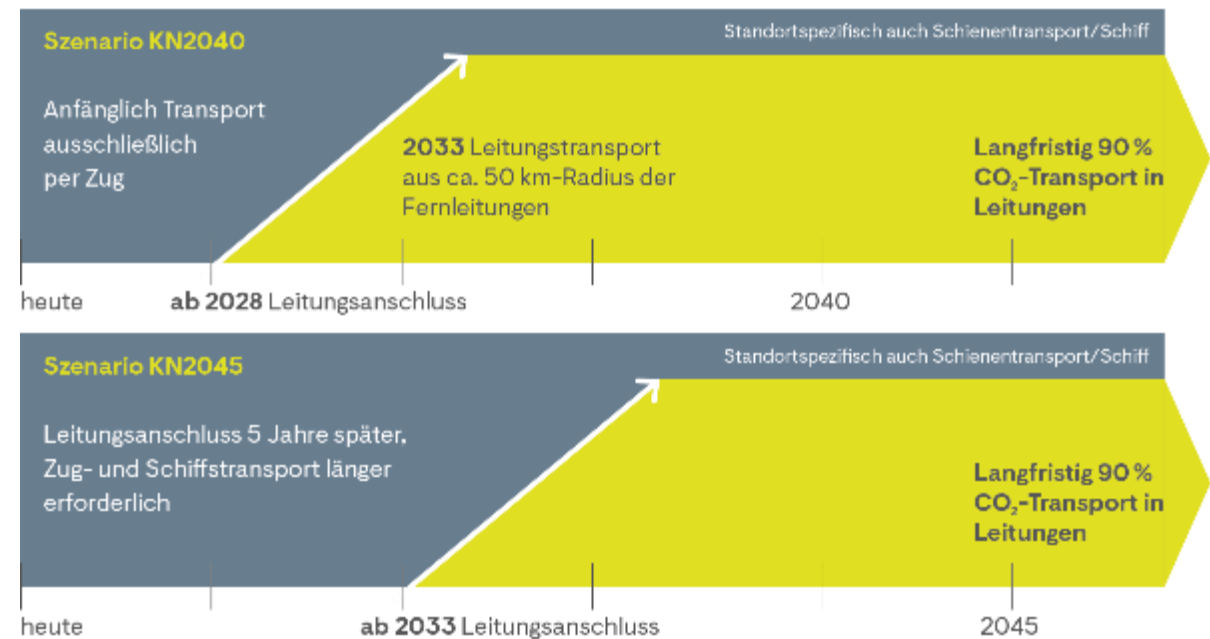
Quellen: Acatech, VDZ auf Basis von Experteninterviews und VCI  
Anmerkungen: Zahlen = absolute CO<sub>2</sub>-Mengen in Mio. t; Steamcracking = chemisch-technisches Verfahren der Petrochemie zur Spaltung von Kohlenwasserstoffen unter Zusatz von Wasserdampf

## Szenario KN2040

- Klimaneutralität im Jahr 2040
- Hintergrund: Minderungspfad im EU-Emissionshandel
- Frühzeitiger Anschluss der CO<sub>2</sub>-Quellen an Leitungen ab 2028

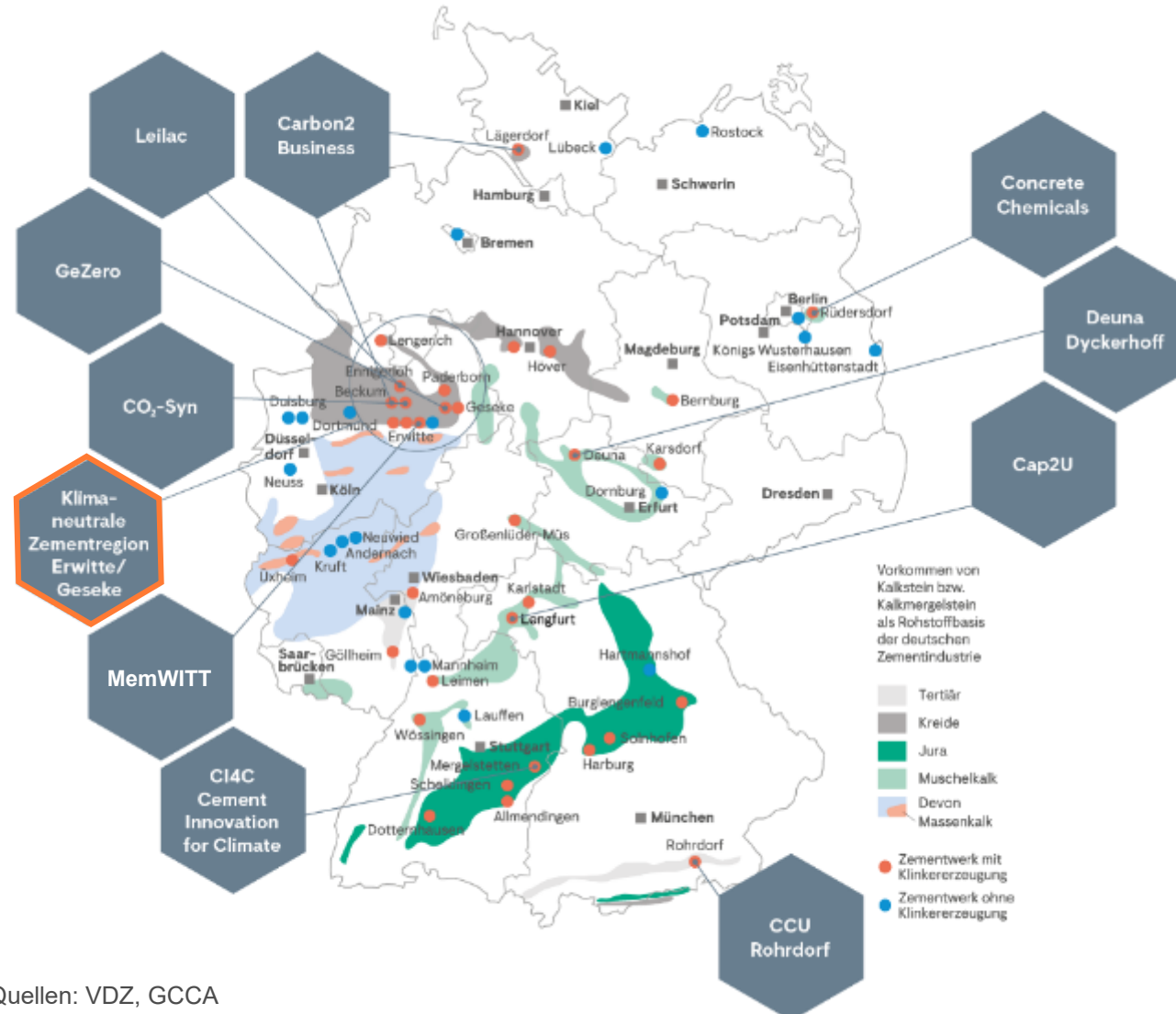
## Szenario KN2045

- Klimaneutralität im Jahr 2045 analog zur Zielsetzung im Klimaschutzgesetz
- Leitungsanschluss der CO<sub>2</sub>-Quellen um fünf Jahre verzögert



# CO<sub>2</sub>-Abscheidung in der Zementindustrie

Projektbeispiele in Deutschland als Ausgangspunkt für die Modellierung



- 10 Zementwerke
- 1 regionale Initiative

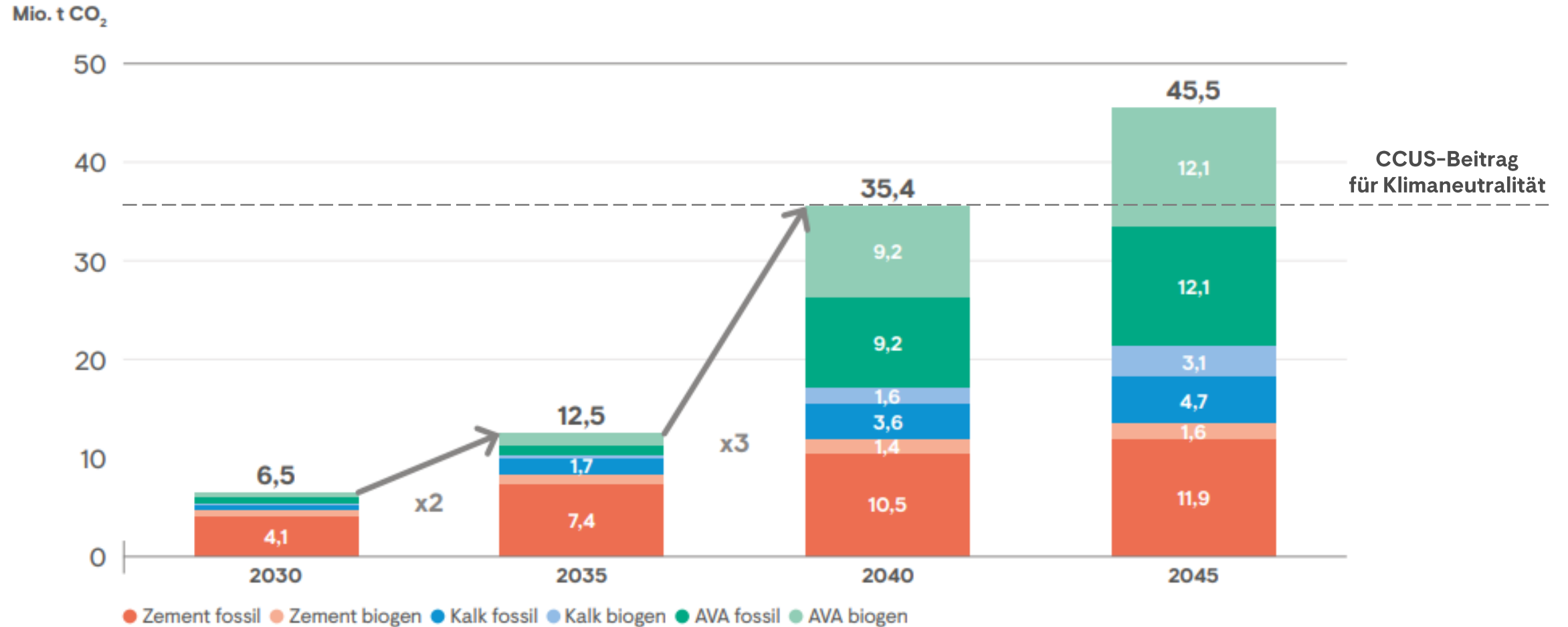
- 4 Kalkwerke
- 9 Abfallverbrennungsanlagen (AVA)

Quellen: VDZ, GCCA

Anmerkung: weitere 34 Pilotvorhaben im Bereich der Abfallverbrennung sind angekündigt, konnten für die Modellierung jedoch nicht quantifiziert werden

# Zeitliche Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Abscheidung

Szenario Klimaneutralität Zement, Kalk, Abfallverbrennung 2040

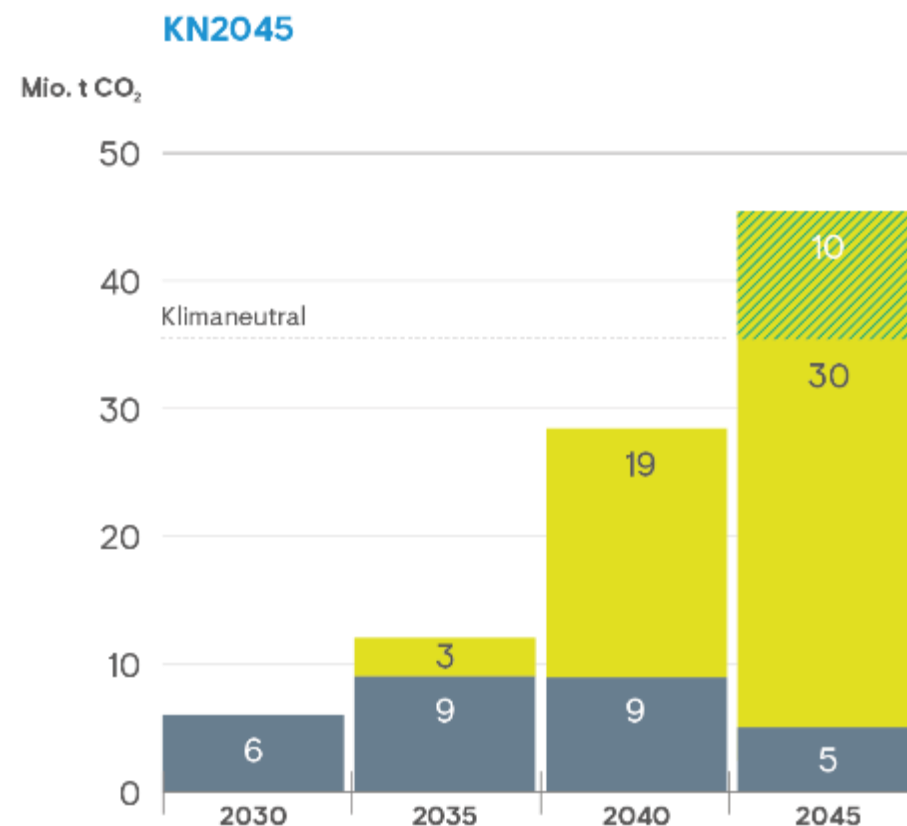
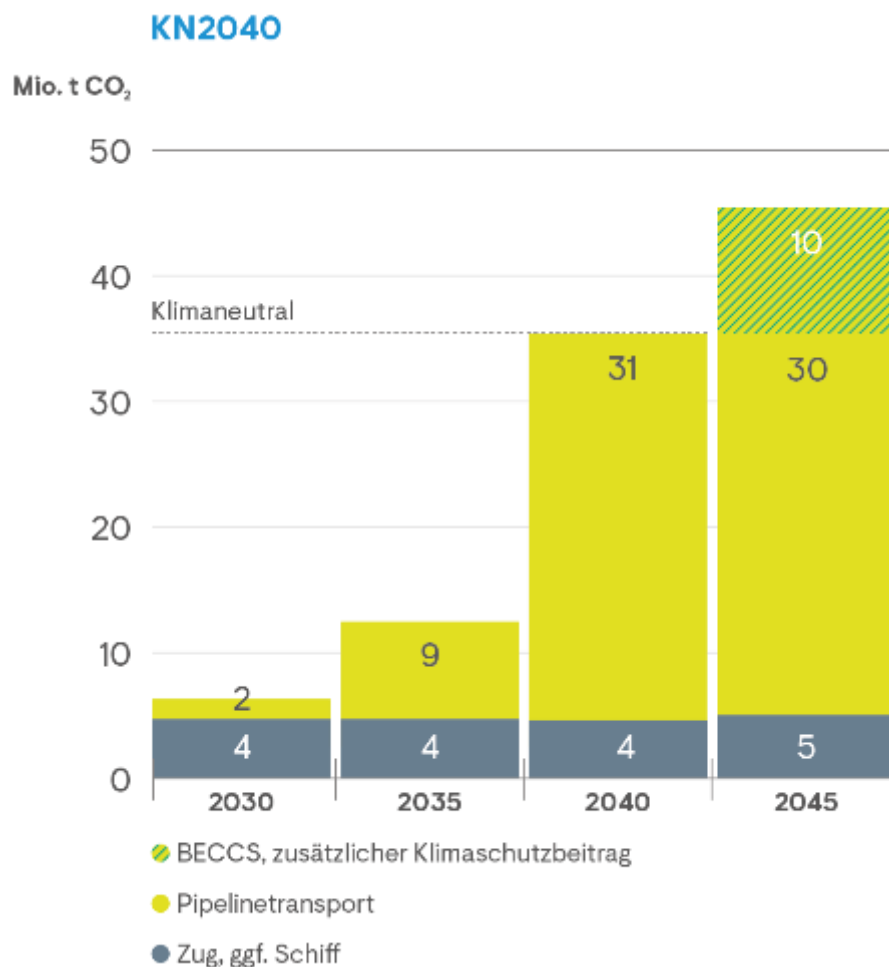


Quellen: VDZ, EU ETS, E-PRTR, BV Kalk, ITAD

Anmerkung: Gesamtes unvermeidbares CO<sub>2</sub> in Zement und Kalk wird bis 2045 abgeschieden (fossil/biogen). Bei AVA nur an 2/3 der Standorte mit CC, Klimaneutralität als Sektor wird trotzdem erreicht.

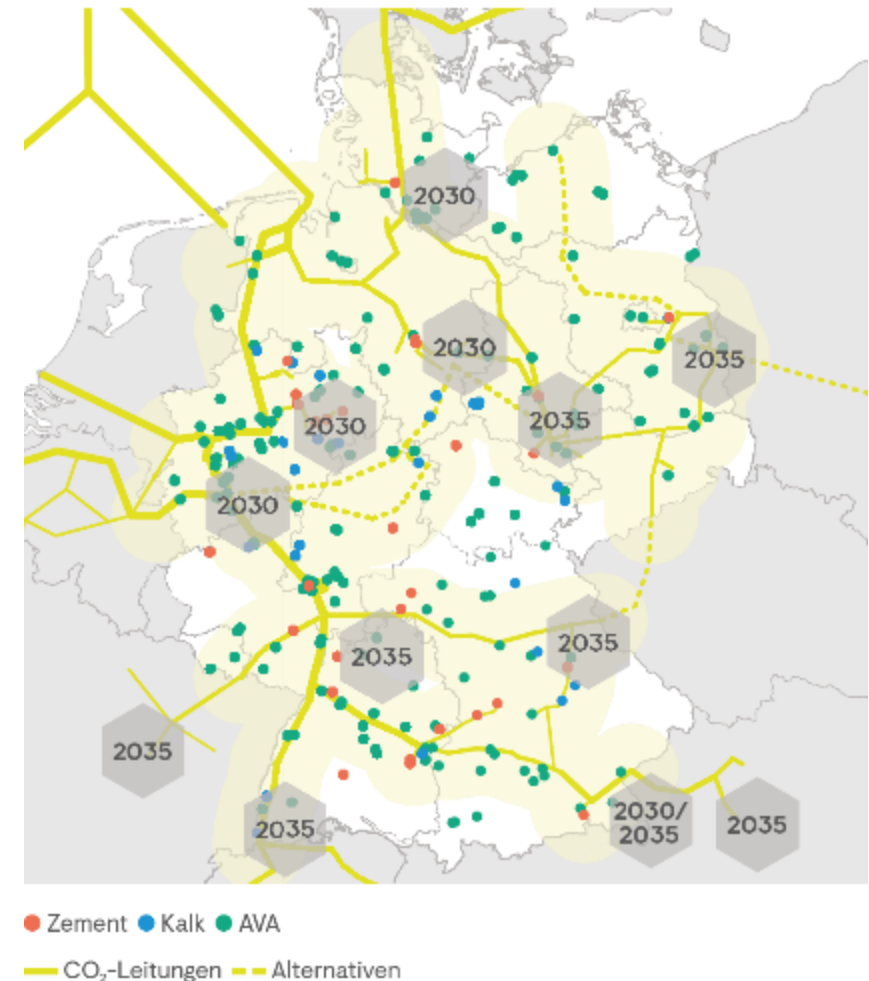
# CO<sub>2</sub>-Transportbedarf für Pipeline, Zug- und Schiffstransport

Pipelinenetz befördert Großteil des CO<sub>2</sub>, flankierende Rolle für Zug- und Schiffstransport



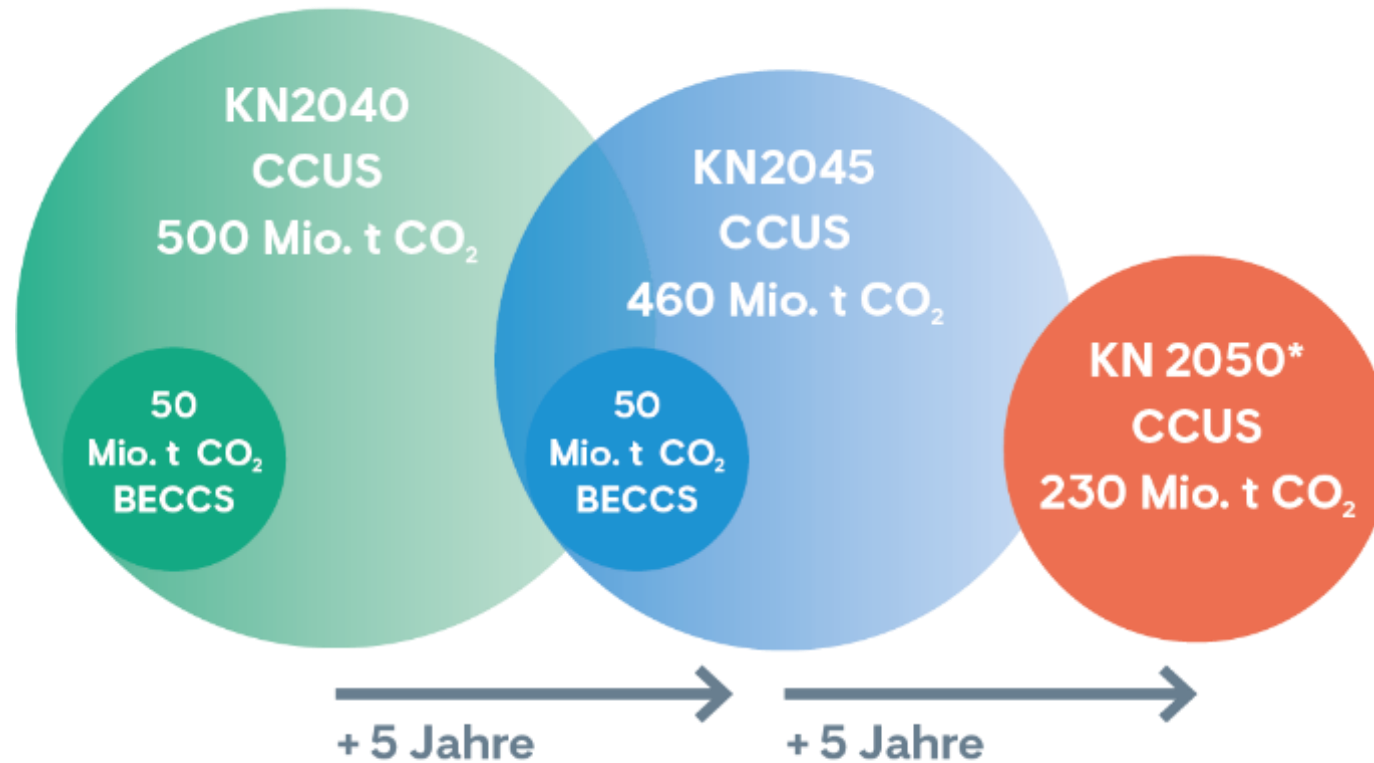
Schneller Aufbau des Pipelinenetzes essenziell

- Errichtung des CO<sub>2</sub>-Fernleitungsnetzes bis 2035 parallel in allen Regionen
  - 4.800 km Länge mit Investitionsbedarf von ungefähr 14 Mrd. Euro
  - ca. 25 bis 35 Euro / t CO<sub>2</sub> mit bzw. ohne Transitmengen
- Zugtransport bis 5 bis 9 Mio. t CO<sub>2</sub>/a mit stabilen Transportbeiträgen
  - 2 bis 4 % der heutigen Gütertransportleistung
  - ca. 35 bis 60 Euro / t CO<sub>2</sub>



# Klimaschutzbeitrag der CO<sub>2</sub>-Infrastruktur

Schneller Aufbau ermöglicht Einsparungen von 500 Mio. t CO<sub>2</sub>



Leistungsanschluss: ab 2028 → + 5 Jahre → + 5 Jahre (nach 2033)

# Energiebedarf für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung 2045

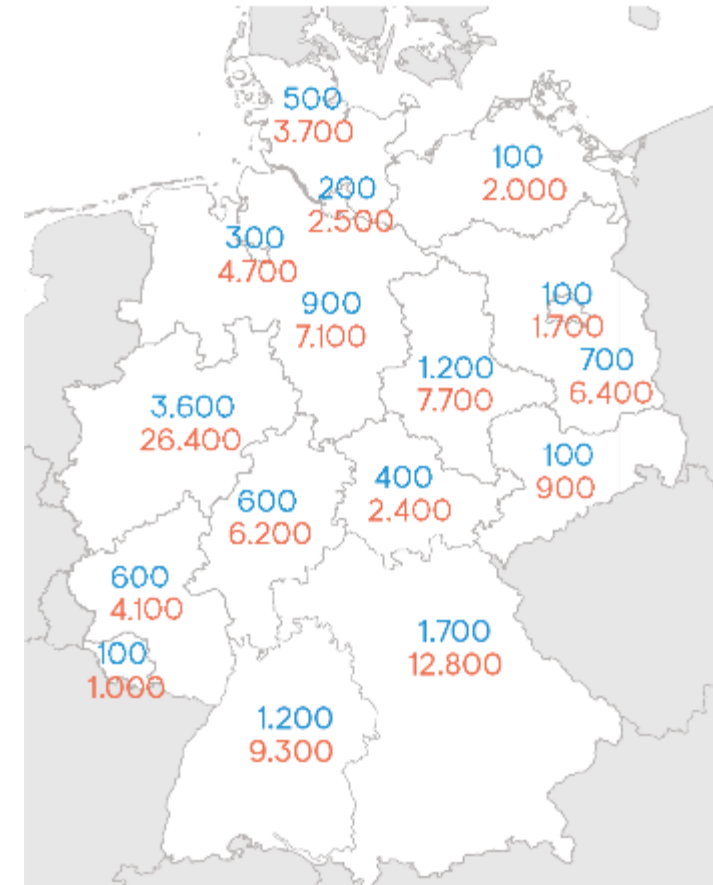
Wesentlicher Baustein für Klimaneutralität in Zement, Kalk und Abfallverbrennung

## CO<sub>2</sub>-freier elektrischer Energiebedarf ca. 12 TWh/a

- 1/3 der Südlink-Kapazität (35 TWh/a)
- 1.400 Windkraftanlagen\*
- Vervierfachung des heutigen Niveaus bei der Zement- und Kalkherstellung

## Thermischer Energiebedarf ca. 100.000 TJ/a

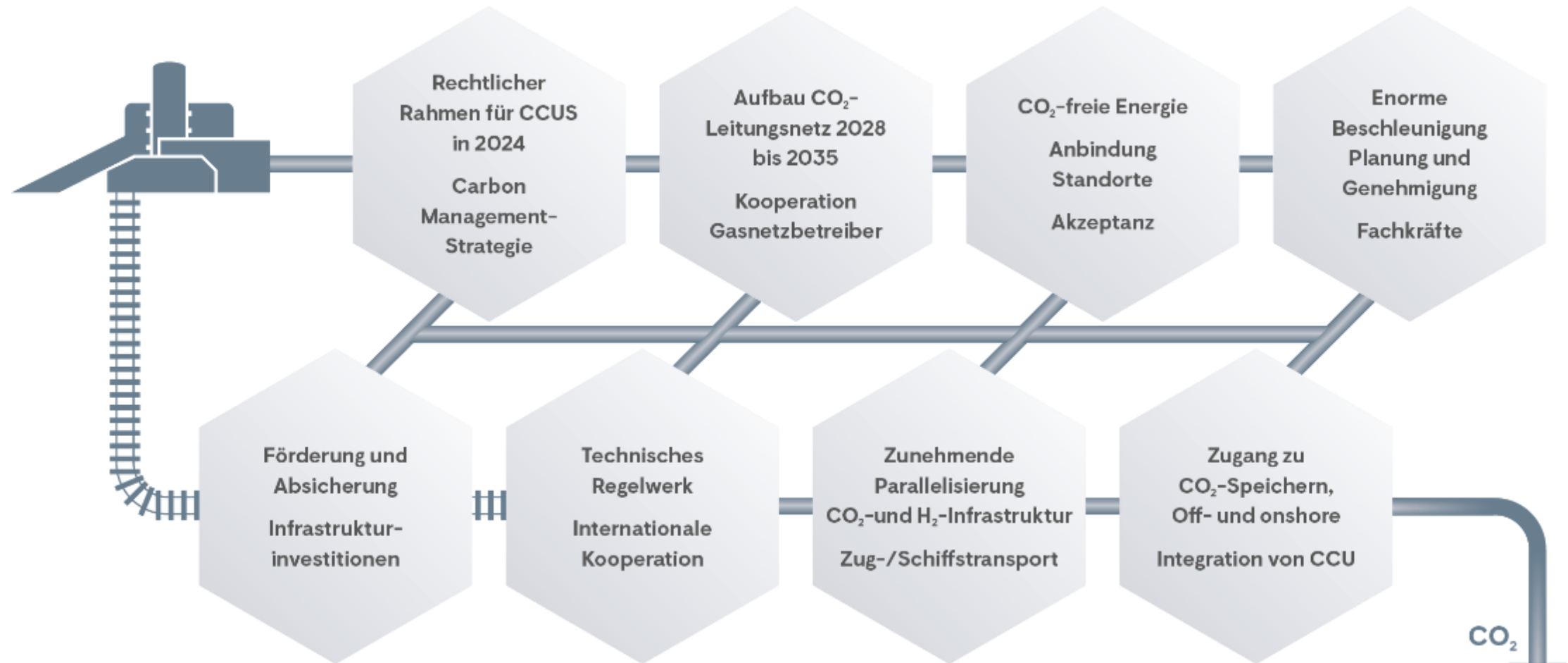
- ca. 20 % des heutigen Brennstoffenergiebedarfs in den Bereichen Zement, Kalk und Abfallverbrennung
- zusätzlicher Energiebedarf letztlich abhängig von der standortspezifisch ausgewählten Technologie



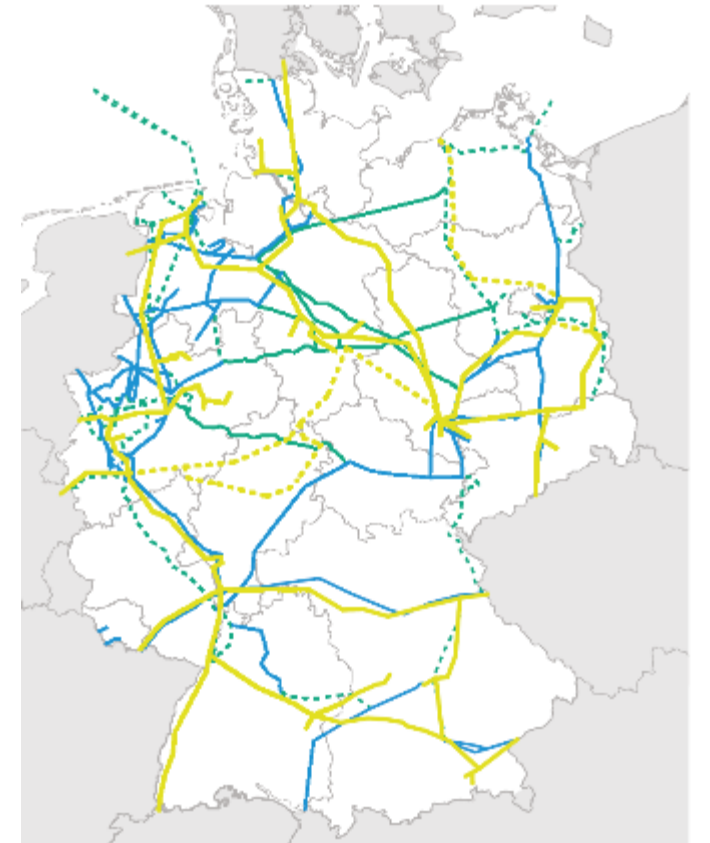
● Elektrisch Summe ca. 12.000 GWh (ca. 12 TWh)

● Thermisch Summe ca. 100.000 TJ

## Anforderungen an eine CO<sub>2</sub>-Infrastruktur in Deutschland



- Zunehmende Parallelisierung von CO<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>-Leitungsbau
- Innovative Genehmigungsverfahren (z.B. Bündelung von Genehmigungen für Korridore zum H<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-Transport)
- Strategische Netzplanung und Finanzierung
- Übertragung von Beschleunigungsmaßnahmen von H<sub>2</sub>- auf CO<sub>2</sub>-Transport



— CO<sub>2</sub>-Leitungen — Alternativen  
— H<sub>2</sub>-Umstellungsleitung — Beispiel für H<sub>2</sub>-Transportalternativen  
— H<sub>2</sub>-Neubauleitungen

Bewährtes neu denken

# Anforderungen an eine CO<sub>2</sub>- Infrastruktur in Deutschland

**vdz**

Johannes Ruppert, VDZ Technology gGmbH  
Klimaneutrale Prozesstechnologien

... weitere Diskussionspapiere zur Finanzierung CO<sub>2</sub>-Infrastruktur und Carbon Dioxide Removal



[http://publikation.energy4climate.nrw/finanzierung\\_co2\\_infrastruktur/](http://publikation.energy4climate.nrw/finanzierung_co2_infrastruktur/)



[http://publikation.energy4climate.nrw/carbon\\_dioxide\\_removal/](http://publikation.energy4climate.nrw/carbon_dioxide_removal/)