

# **NRW-Fallstudie: Erste Ergebnisse (Arbeitsstand)**

Sprint CO2-Infrastruktur, Gelsenkirchen, 01.12.2025

# O45-Strom: Zentrale Szenario-Leitplanken

Aus dem Projekt *Langfristszenarien für das BMWE*

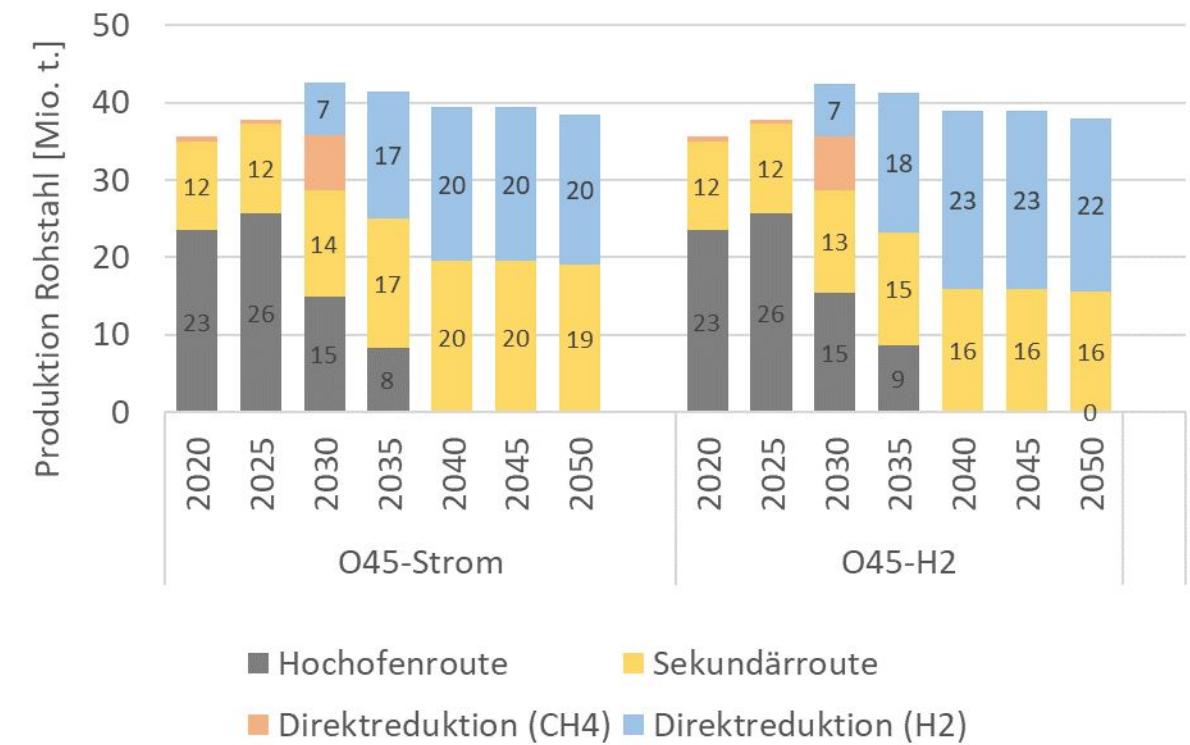
	O45 Szenarien
<b>Ziel THG Minderung 2045</b>	<b>Mindestens 95 %</b> gegenüber 1990 für den Industriesektor (dabei THG-Neutralität Gesamtsystem in 2045 nach Klimaschutzgesetz vom August 2021)
<b>Wirtschaftliche Entwicklung</b>	<b>Kontinuierliches Wachstum und leichter Strukturwandel</b> (BWS ~+1%/Jahr, „neue Branchen“)
<b>Biomasse</b>	<b>Energetischen Einsatz nicht ausweiten</b>
<b>Energie-, Materialeffizienz und Circular Economy</b>	<b>Ambitionierte Steigerung</b> (in realistischem Rahmen)
<b>CCS und CCU</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Abscheidung</b> , wo Alternativen schwierig sind: <b>Zement- und Kalkwerke</b> (sowie Müllheizwerke)
<b>Brennstoff- Feedstock- und Prozesswechsel</b>	O45-Strom: Schwerpunkt Elektrifizierung, wo technisch umsetzbar

# Annahmen: Stahl

Annahmen Stahlindustrie

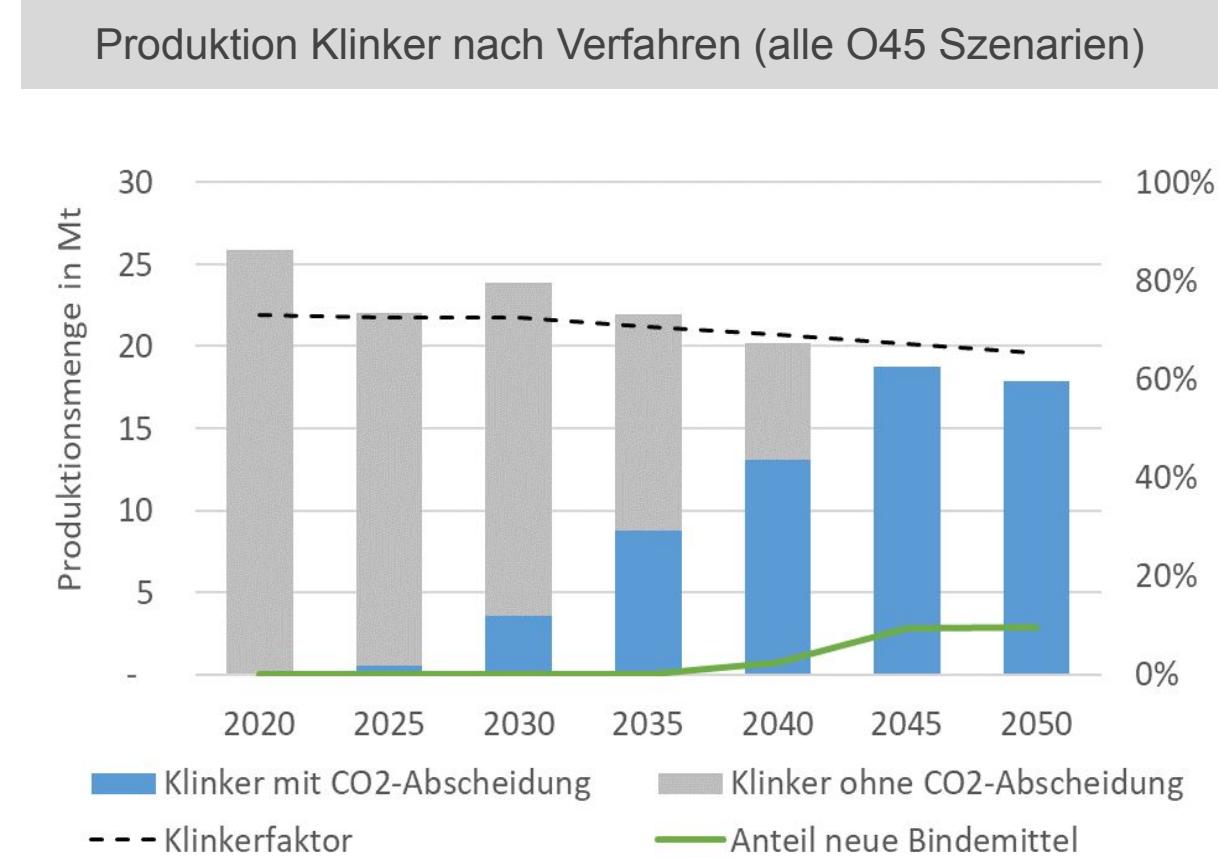
	O45-Strom	O45-H2
<b>Materialeffizienz</b>	Reduktion Nachfrage nach Rohstahl und Walzstahl: 10% ggü. Ref	
<b>Kreislauf</b>	Anteil Sekundärstahl steigt von 30% (2015) auf 49% in 2045	Anteil Sekundärstahl steigt von 30% (2015) auf 41% in 2045
<b>Prozesswechsel</b>	H <sub>2</sub> -DRI (Übergang CH <sub>4</sub> -DRI) 2030:14 Mt DRI	H <sub>2</sub> -DRI (Übergang CH <sub>4</sub> -DRI) 2030:13 Mt DRI

Produktion Rohstahl nach Route



# Annahmen: Zement und Kalk

Annahmen Zement u. Kalk		
	O45-Strom	O45-H2
<b>Materialeffizienz</b>	Produktion Zement: -20% ggü. 2018 (bis 2045) Produktion konventioneller Klinker: -33% ggü. 2018 (bis 2045) Produktion Kalk: -40% ggü. 2018 (bereits bis 2030)	
<b>Kreislauf</b>	-	
<b>Materialeinsatz / neue Produkte</b>	Geringe Anteile neue Bindemittel (~10%) Klinkerfaktor von 73% in 2015 auf 65% in 2045	
<b>Brennstoffwechsel</b>	Teilelektrifizierung, Ersatzbrennstoffe, Biomasse	Wasserstoff, Ersatzbrennstoffe
<b>CCS / CCU</b>	CO <sub>2</sub> -Abscheidung bis 2045 an allen Zementwerken und den meisten Kalkwerken	

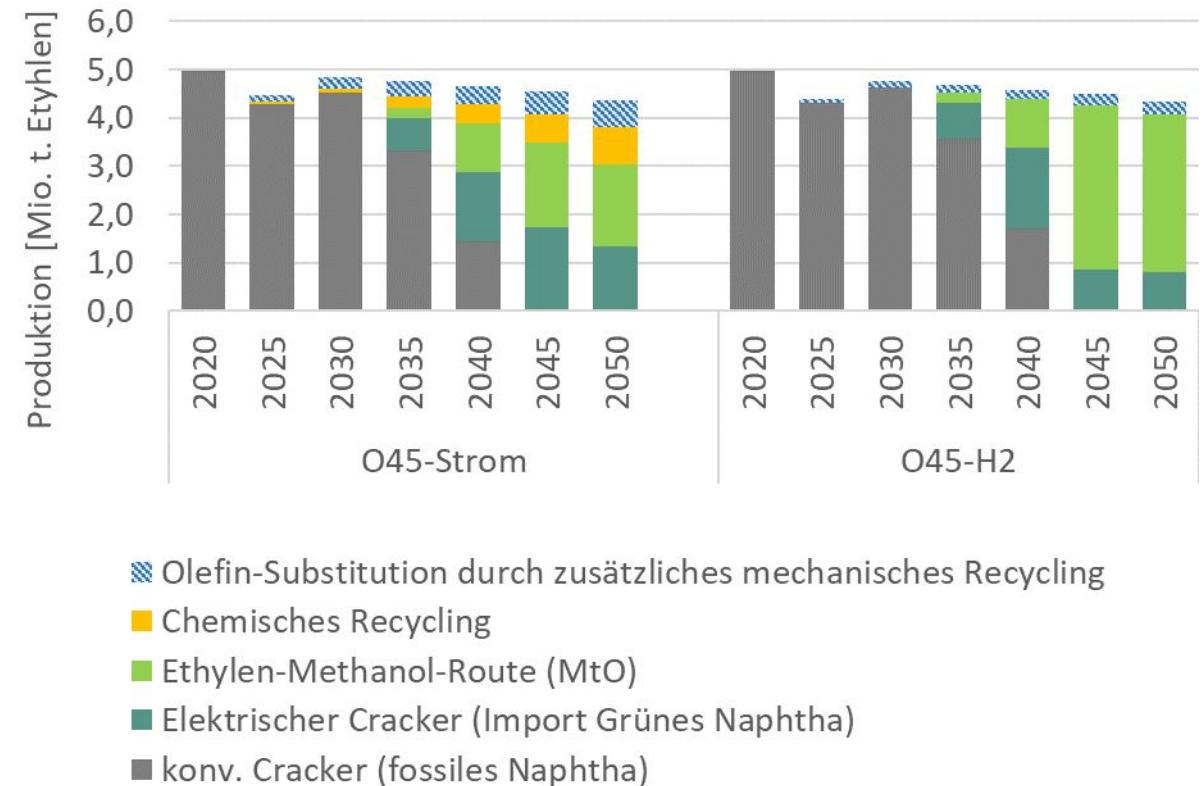


# Annahmen: Grundstoffchemie

Szenariodesign Grundstoffchemie

	Ggfs. Sektor	O45-Strom	O45-H2
Material-effizienz		Reduktion und Ersatz Kunststoffverbrauch: 8% (Ethylen), Reduktion Düngerbedarf: 12% (Ammoniak)	
Kreislauf	High Value Chemicals	Mechanisches Recycling (+13%)  Chemisches Recycling (20%)	Mechanisches Recycling (+6%)  Chemisches Recycling (0%)
Prozess-wechsel	High Value Chemicals (Olefine + Aromaten)	H <sub>2</sub> ->MtO/MtA (45%)  El. Steamcracker + PtL (35%)	H <sub>2</sub> ->MtO/MtA (80%)  El. Steamcracker + PtL (20%)
	Ammoniak	Import grüner Ammoniak	EE-H <sub>2</sub> Hochlauf (2035: 6%, 2040: 18%, 2045: 100%)
Brennstoff-wechsel	Dampf	Direktelektrifizierung	Wasserstoffeinsatz

Produktionsmenge Ethylen nach Route



# FORECAST Industrie

- Verbleibende Emissionen nach umfassenden Minderungsmaßnahmen
- CCS ermöglicht die weitgehende Abscheidung bei fehlenden Minderungsalternativen

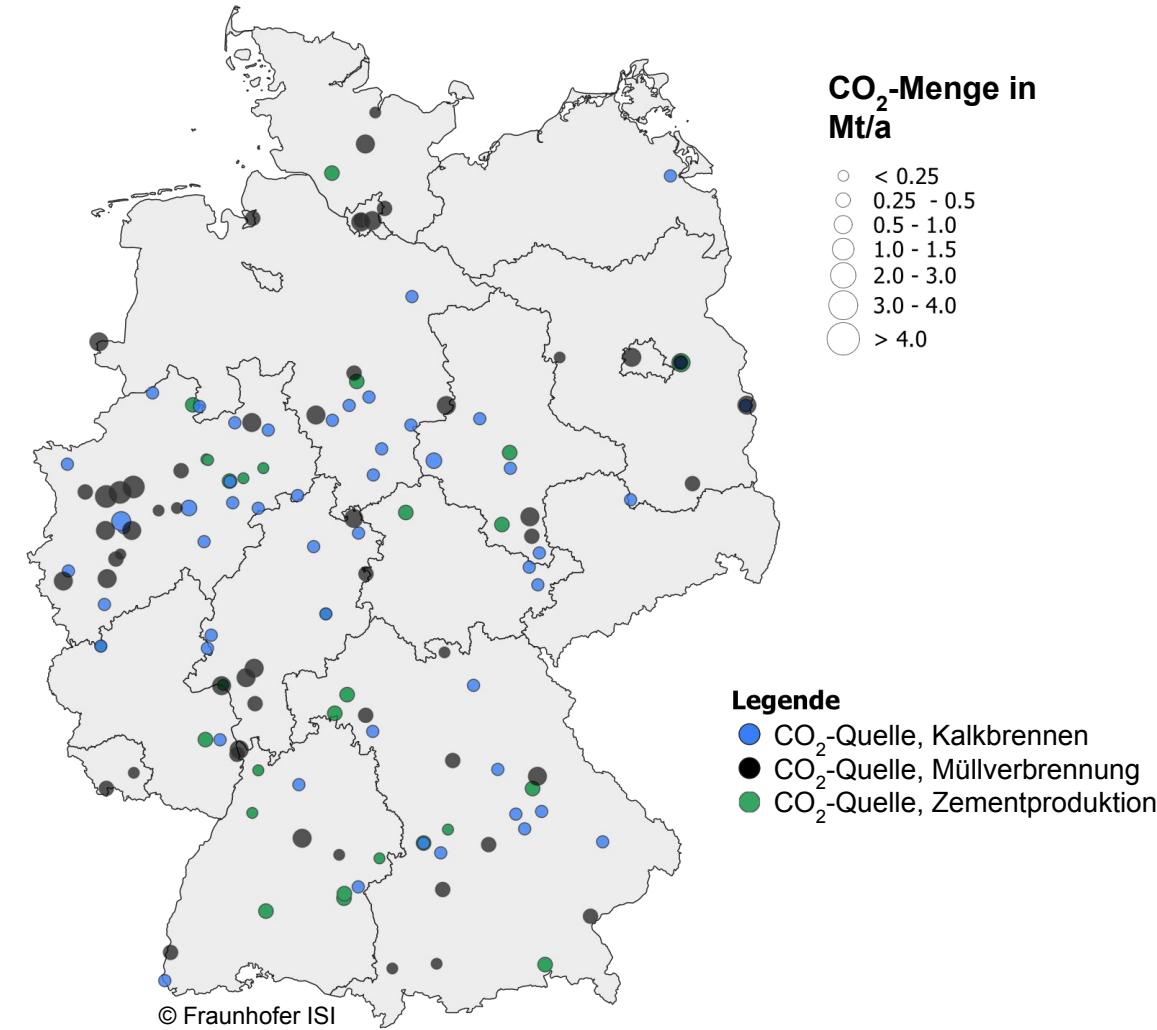
## ▪ Relevante Prozesse:

- Brennen von Kalk
- Brennen von Klinker (Zementherstellung)
- Müllverbrennung

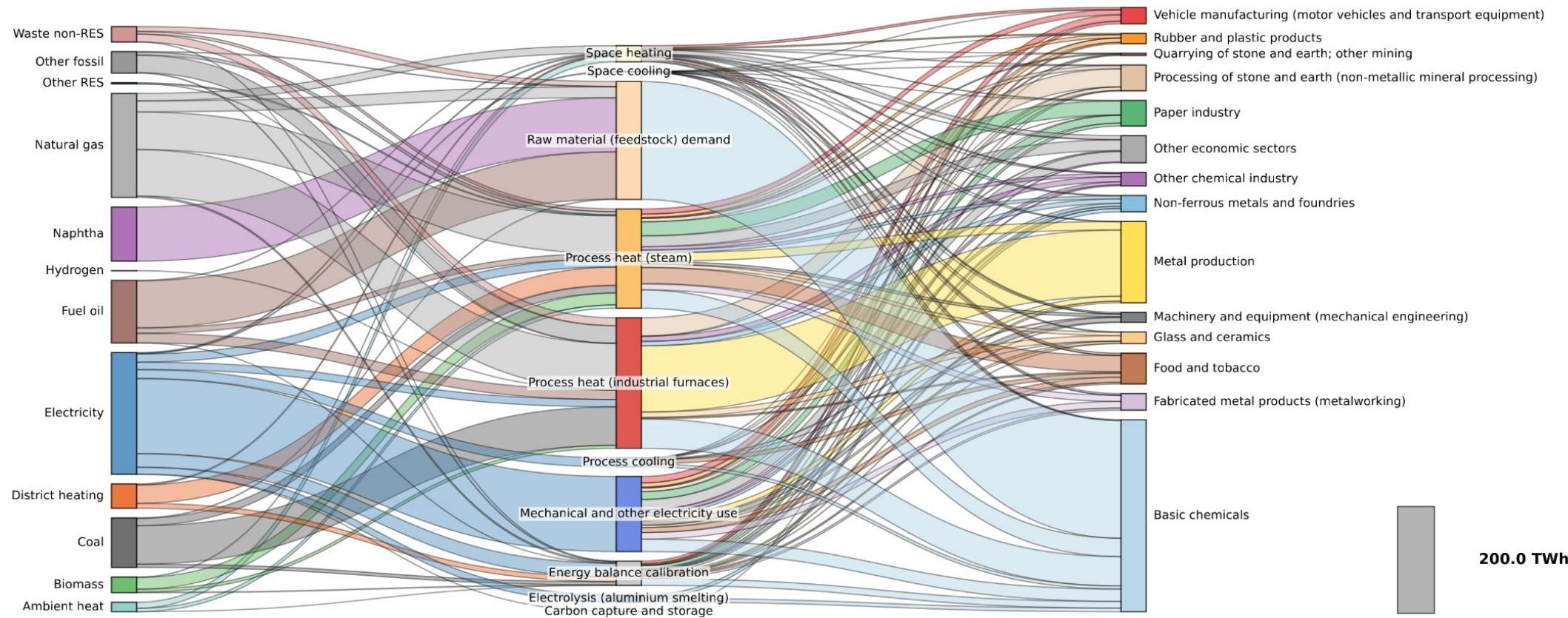
## ▪ Räumliche Verteilung:

- Breite räumliche Verteilung der Standorte und Emissionen

DE 2045			NRW 2045				
Kategorie	Kalk	Zement	WTE	Kategorie	Kalk	Zement	WTE
Standorte	52	32	55	Standorte	15	8	14
Menge [Mt/a]	~4	~9	~27	Menge [Mt/a]	~1	~3	~6

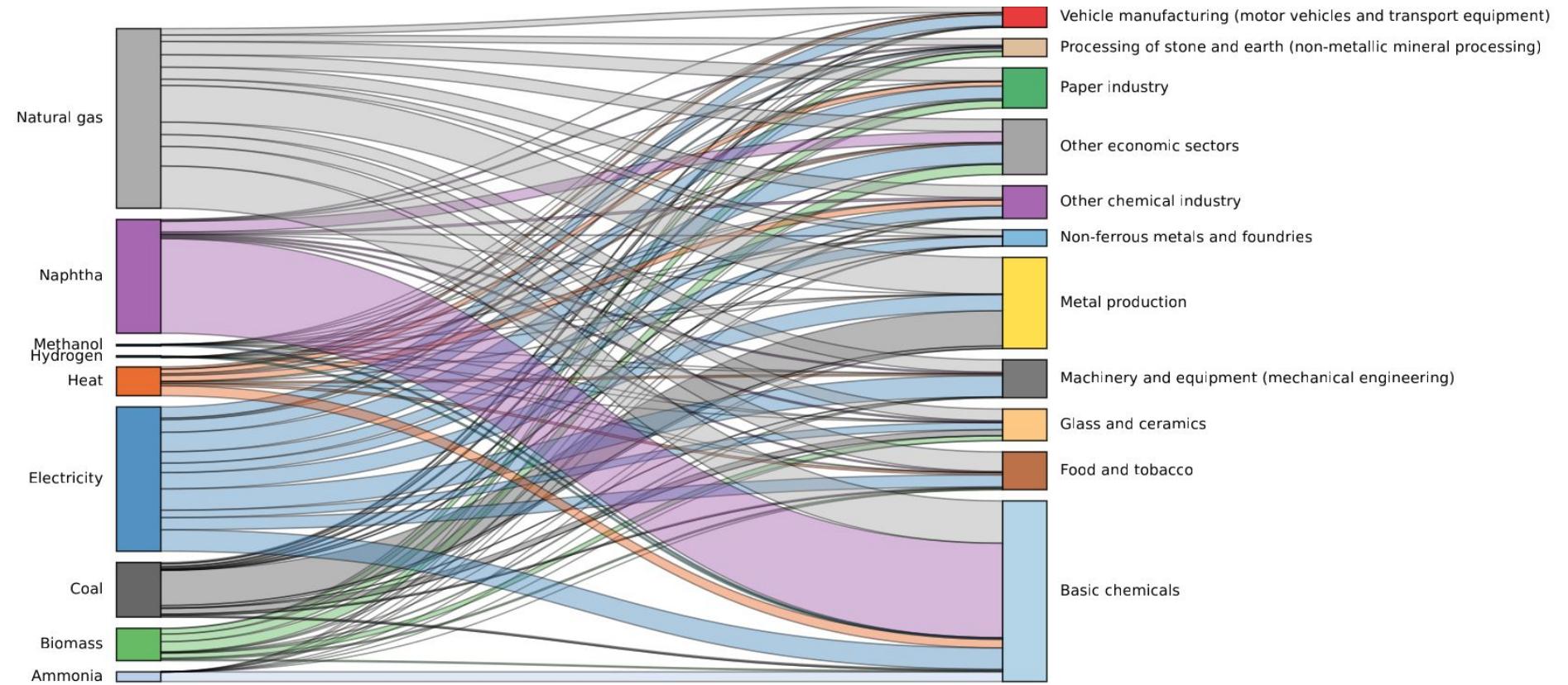


# In NRW-Fallstudie: FORECAST (“Orientierungsszenario Strom”) für DE



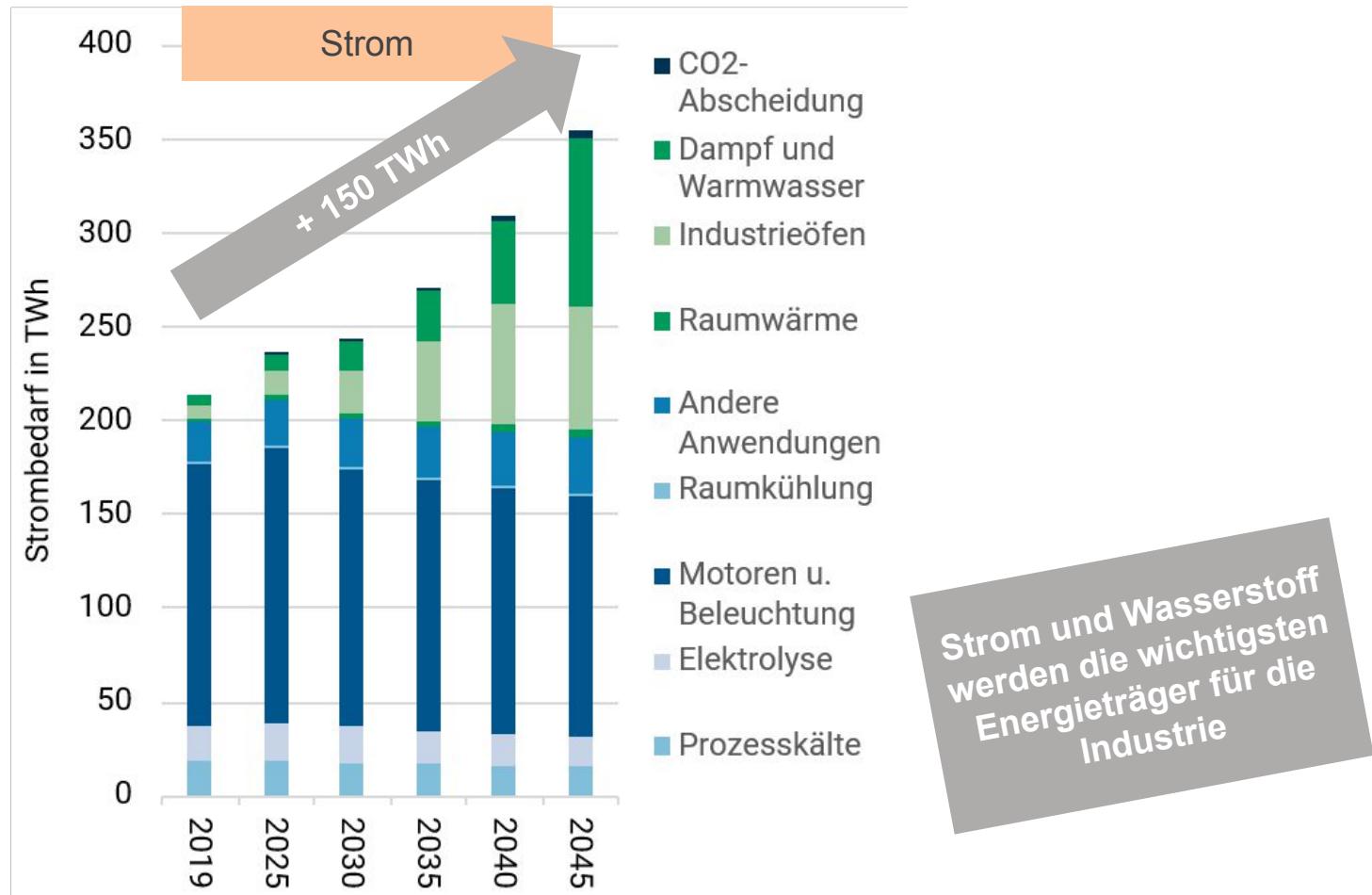
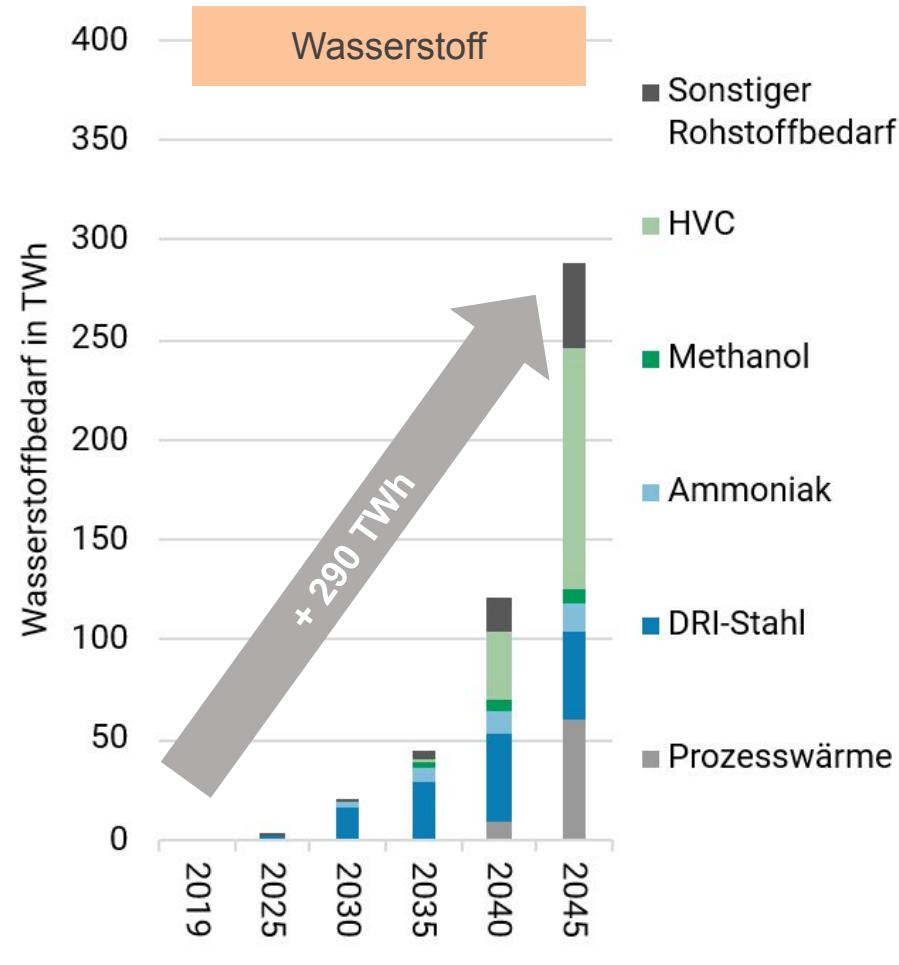
# Berücksichtigung der Industrie durch aggregierte Energieträger

Das Modell aggregiert die Industrieproduktion in ihre Energieeinsätze, berücksichtigt dabei deren räumliche Verteilung und speist die entsprechenden Energieträger als Nachfragegrößen in das Energiesystemmodell ein.

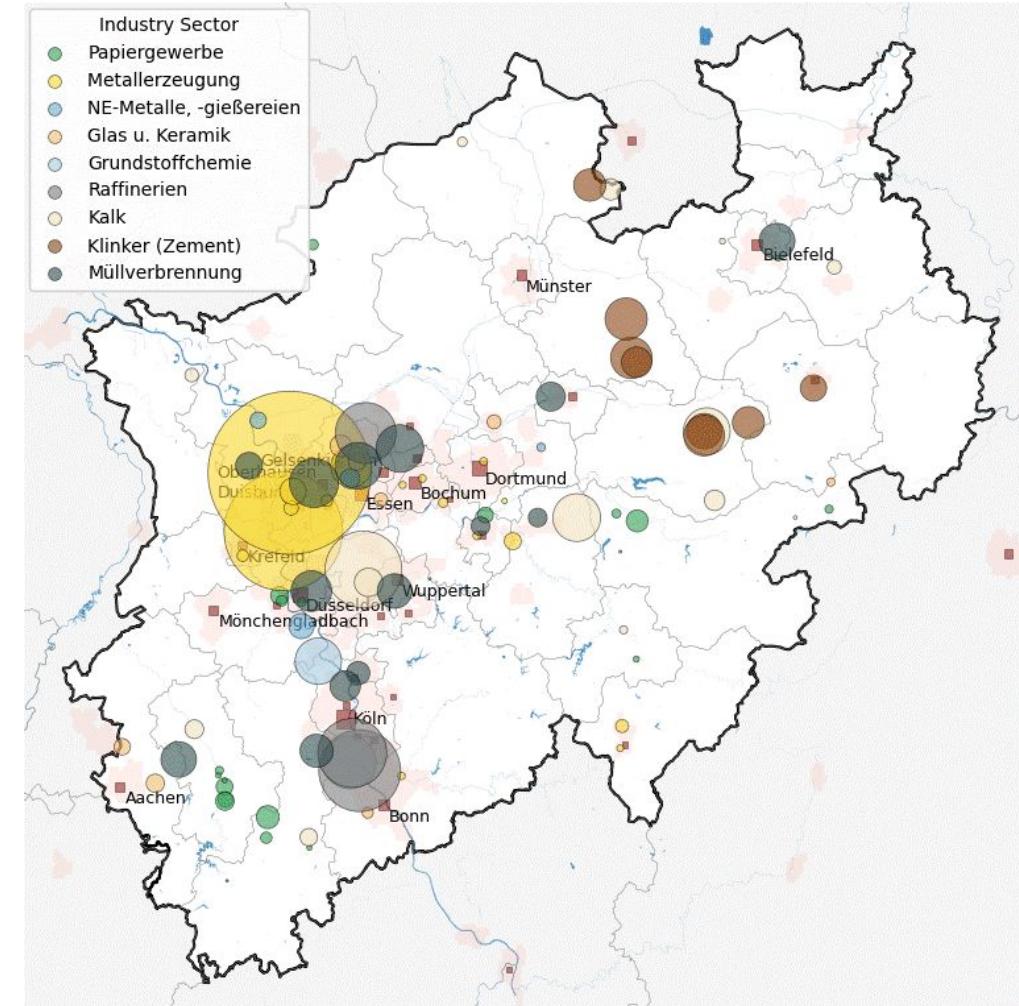
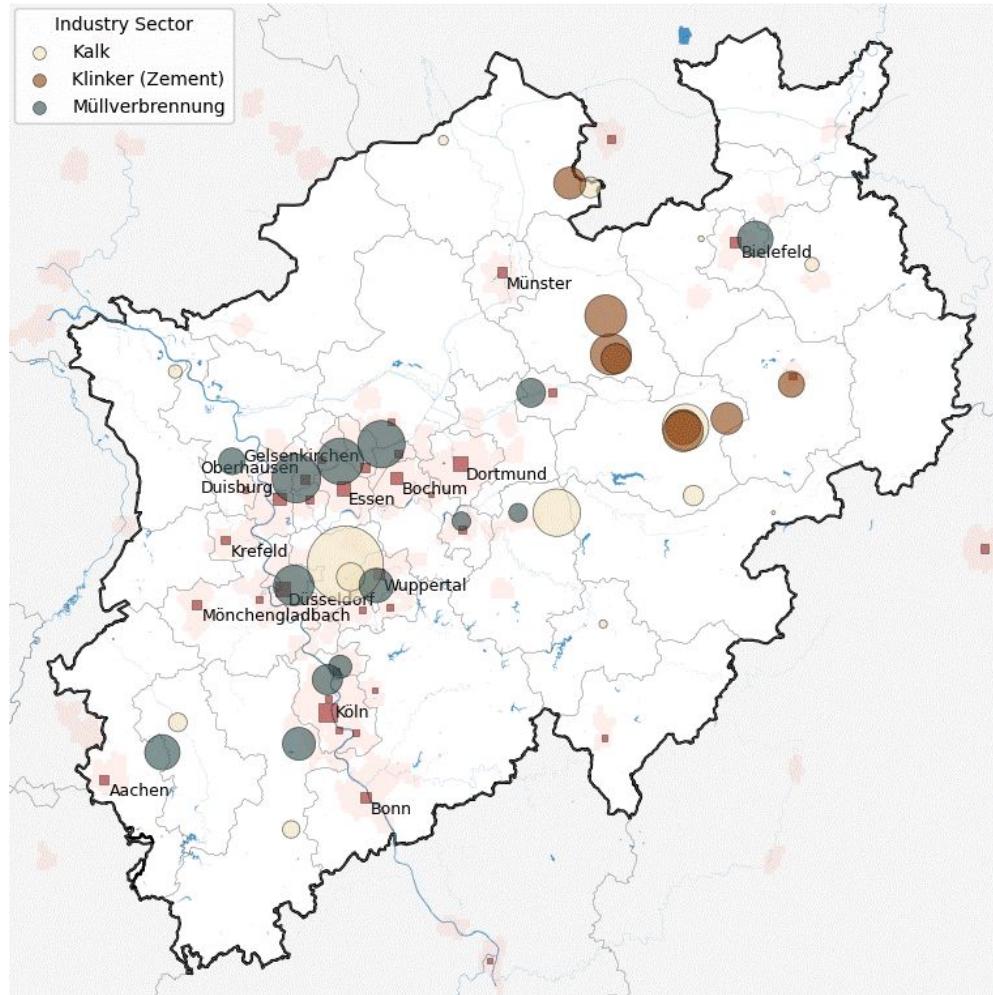


Starker Anstieg des Wasserstoff- und Strombedarfs der Industrie erwartet

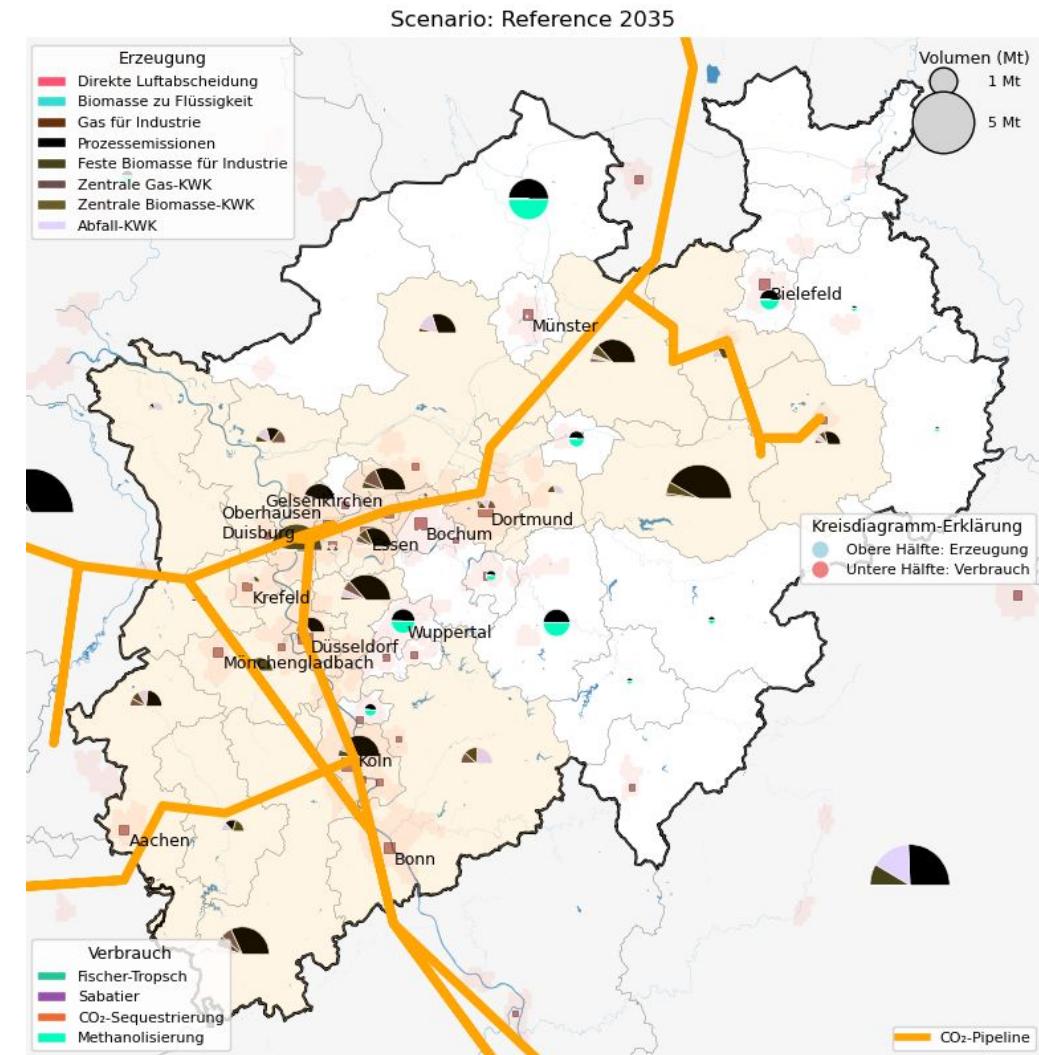
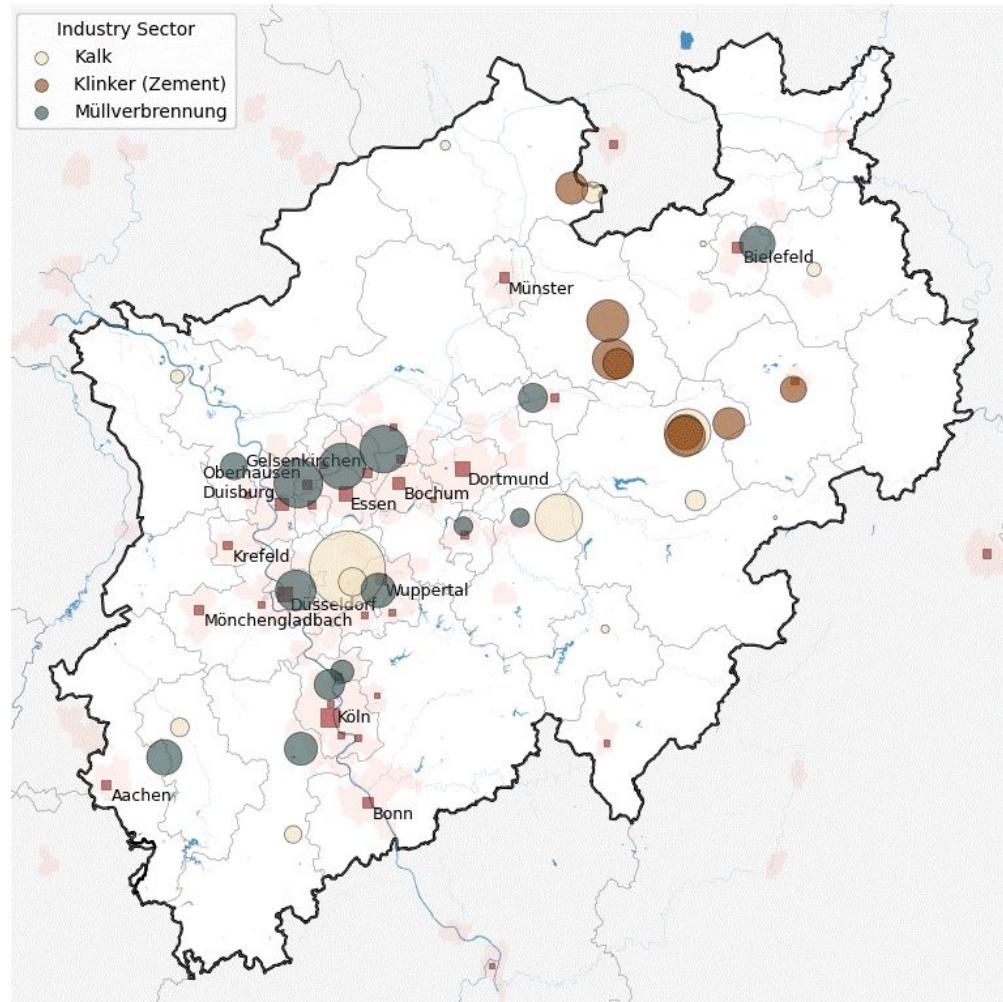
## O45-Szenario: Wasserstoff- und Strombedarf Industrie nach Anwendungen



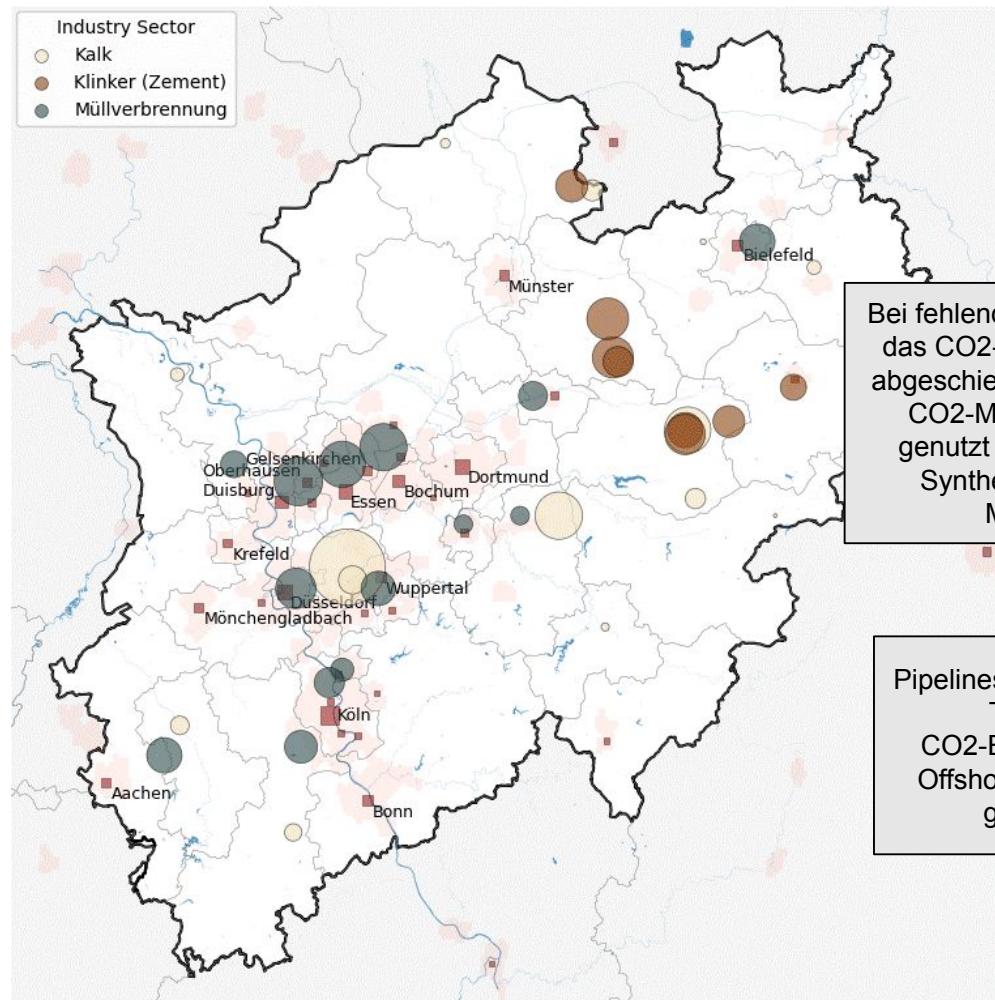
# Regionale Verteilung von CO2-Potenzialen\*



# Regionale Verteilung der CO2-Abscheidung und -Nutzung

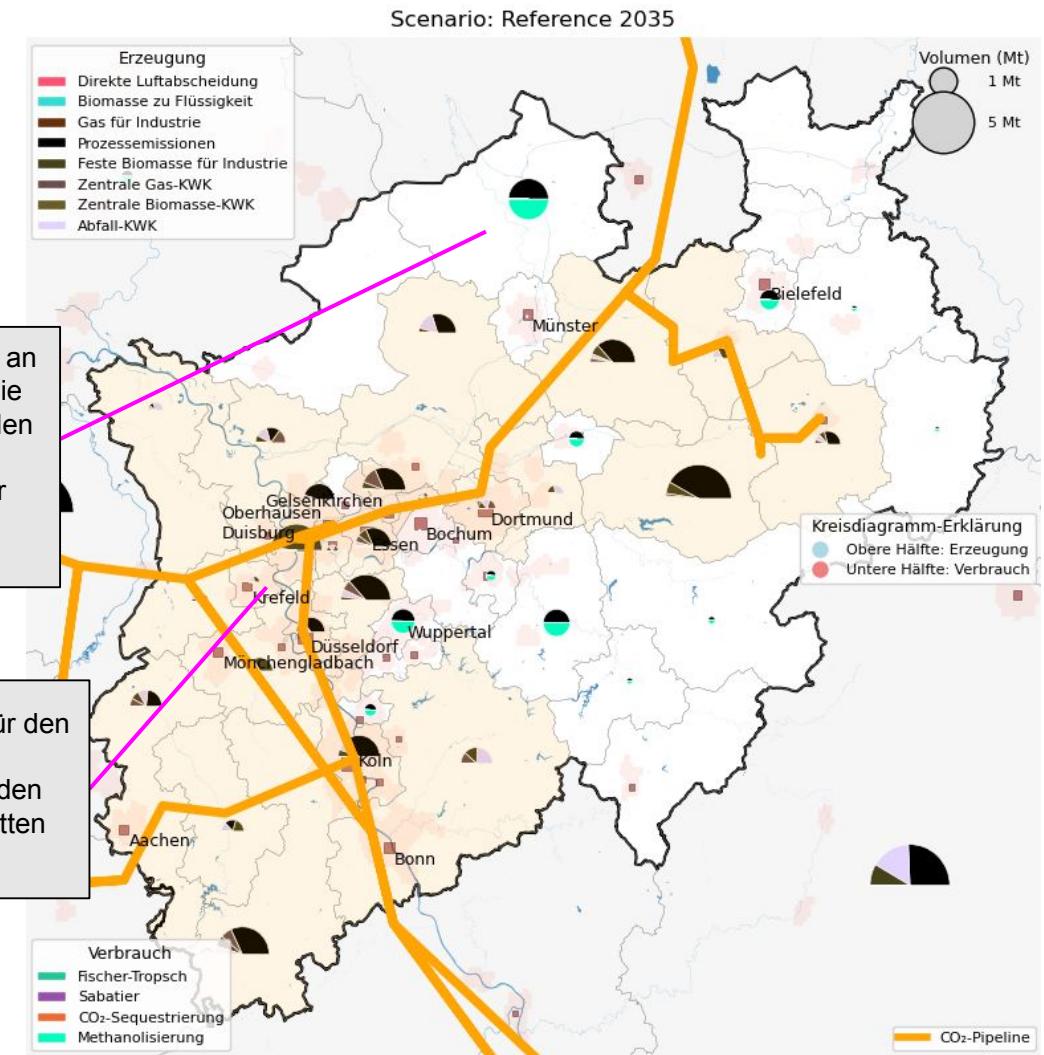


# Regionale Verteilung der CO2-Abscheidung und -Nutzung

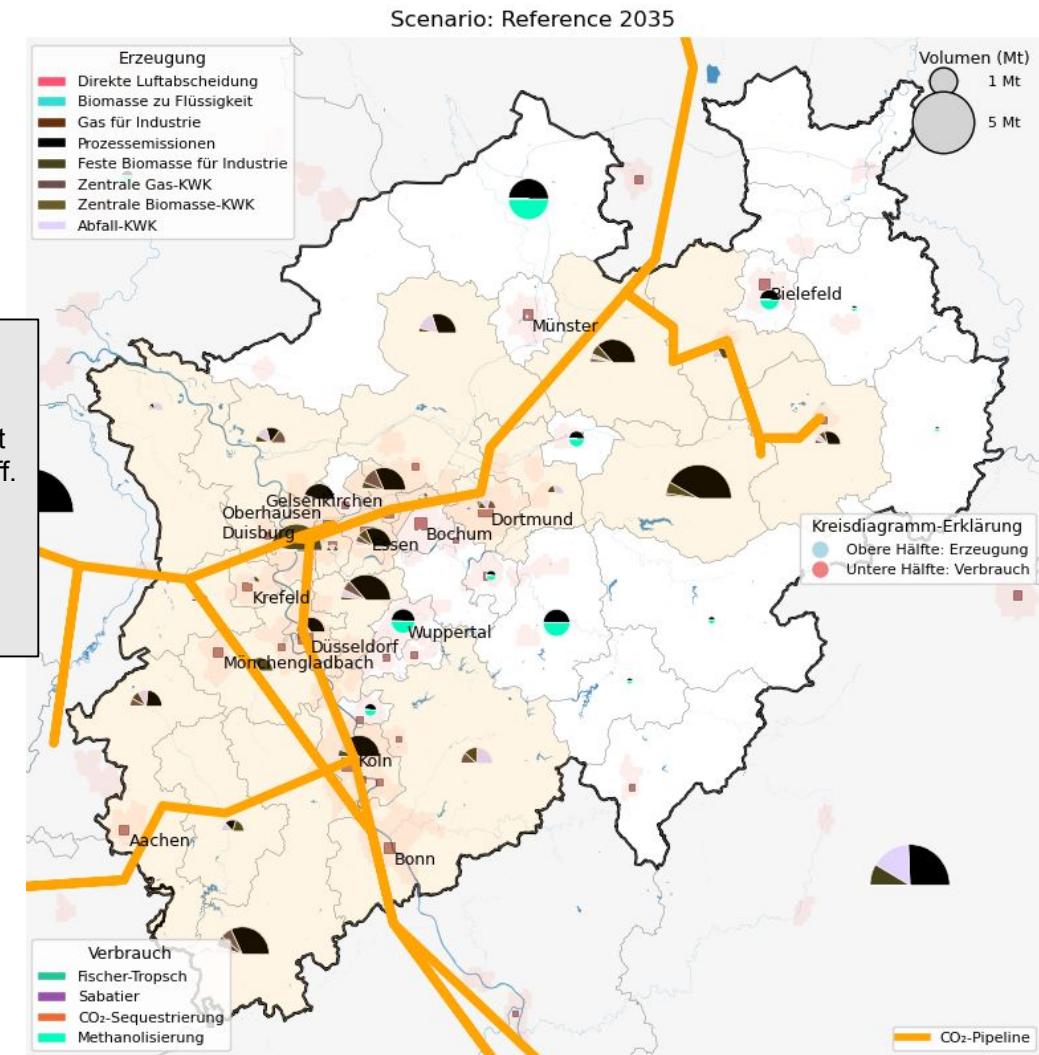
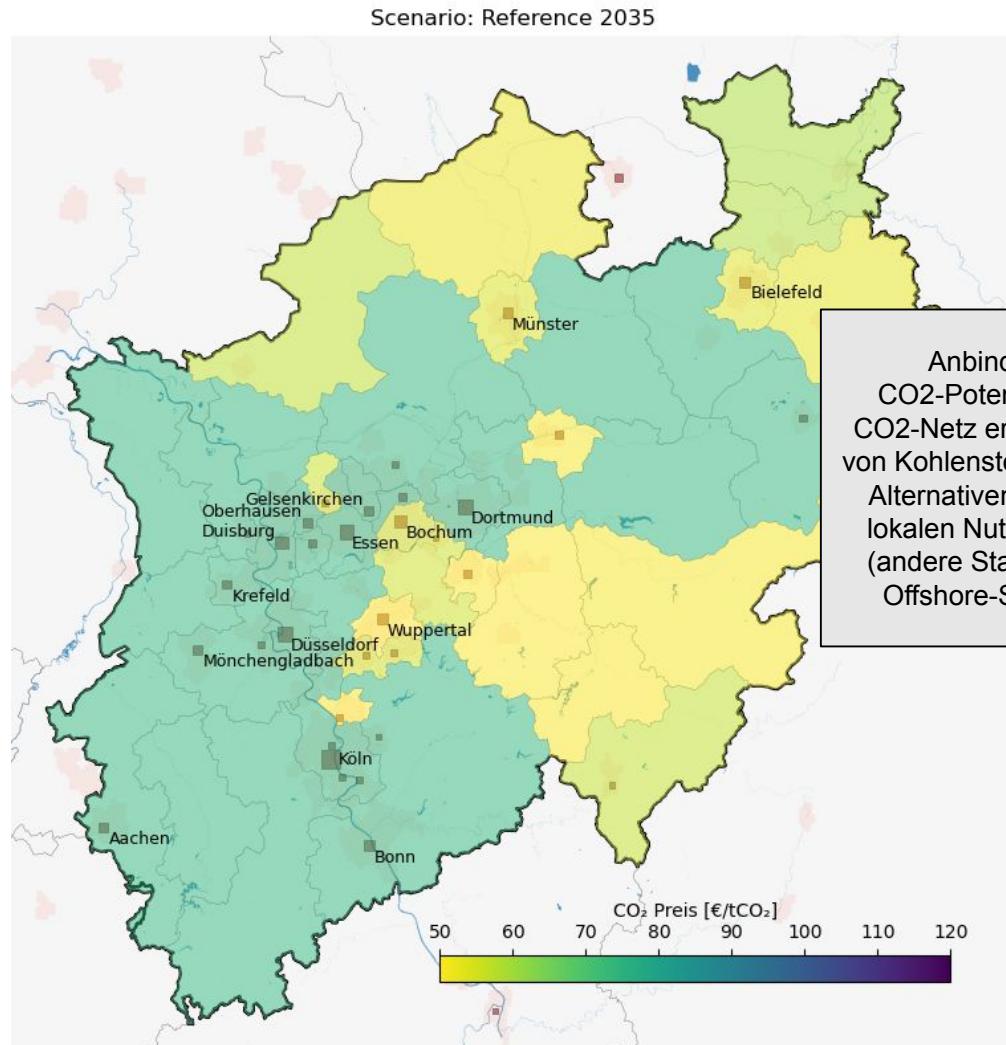


Bei fehlendem Anschluss an das CO2-Netz werden die abgeschiedenen regionalen CO2-Mengen stofflich genutzt (CCU), z.B. zur Synthetisierung von Methanol

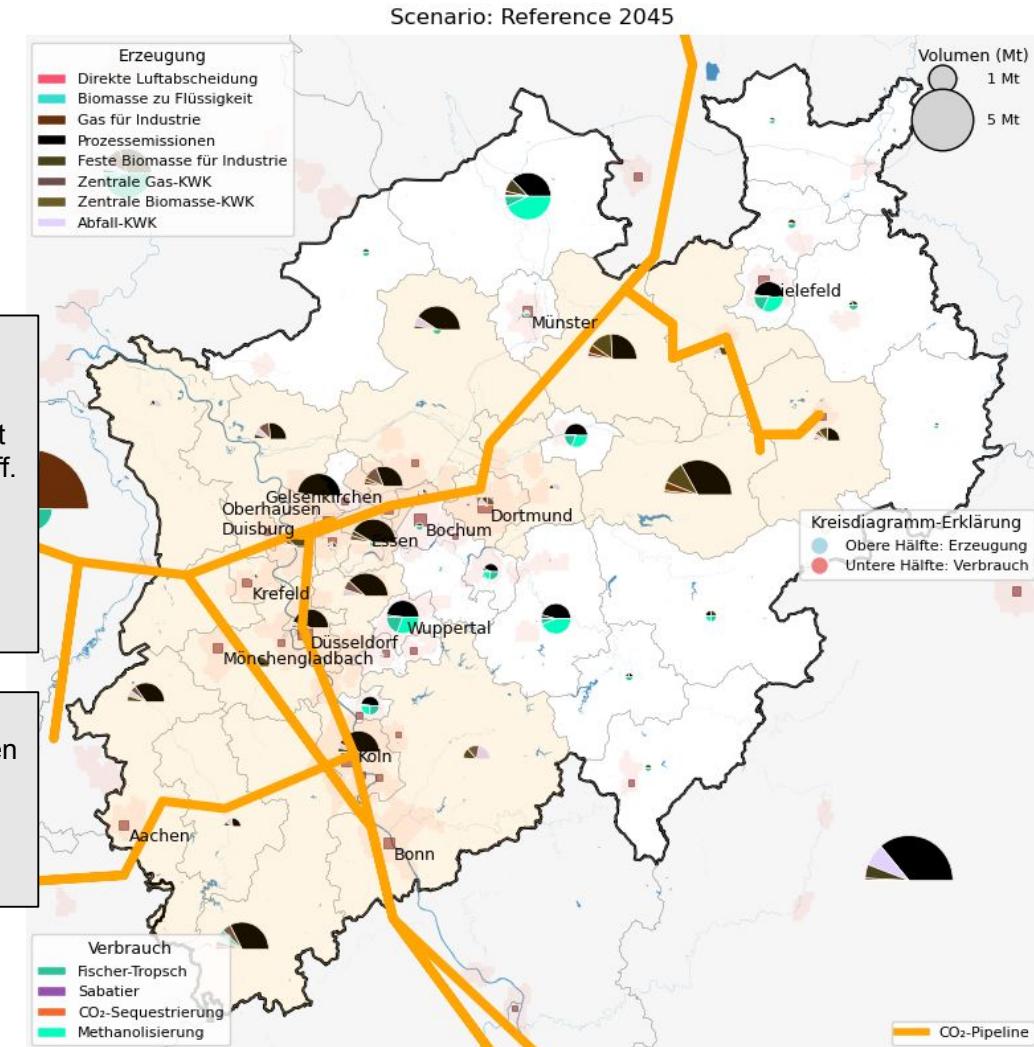
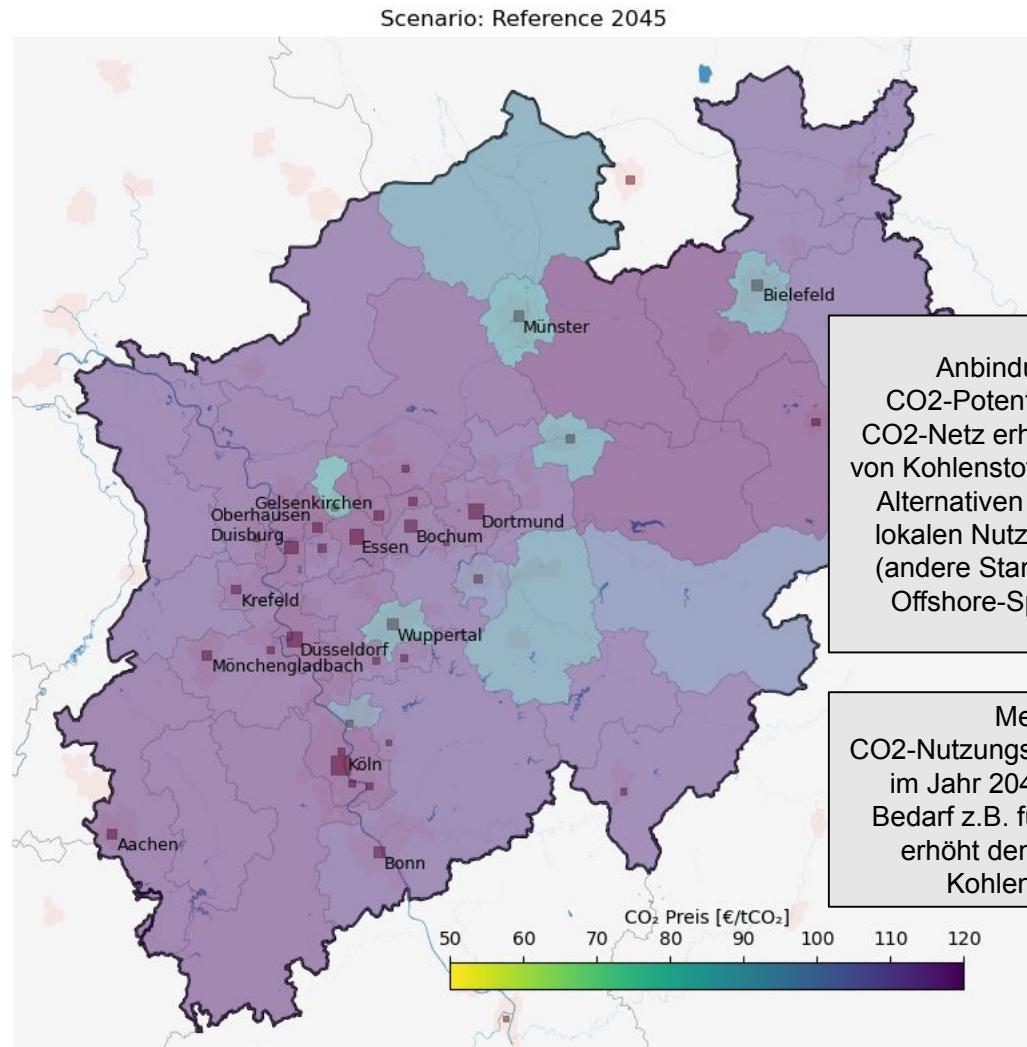
Pipelines werden v.a. für den Transport der CO2-Emissionen zu den Offshore-Speicherstätten genutzt (CCS)



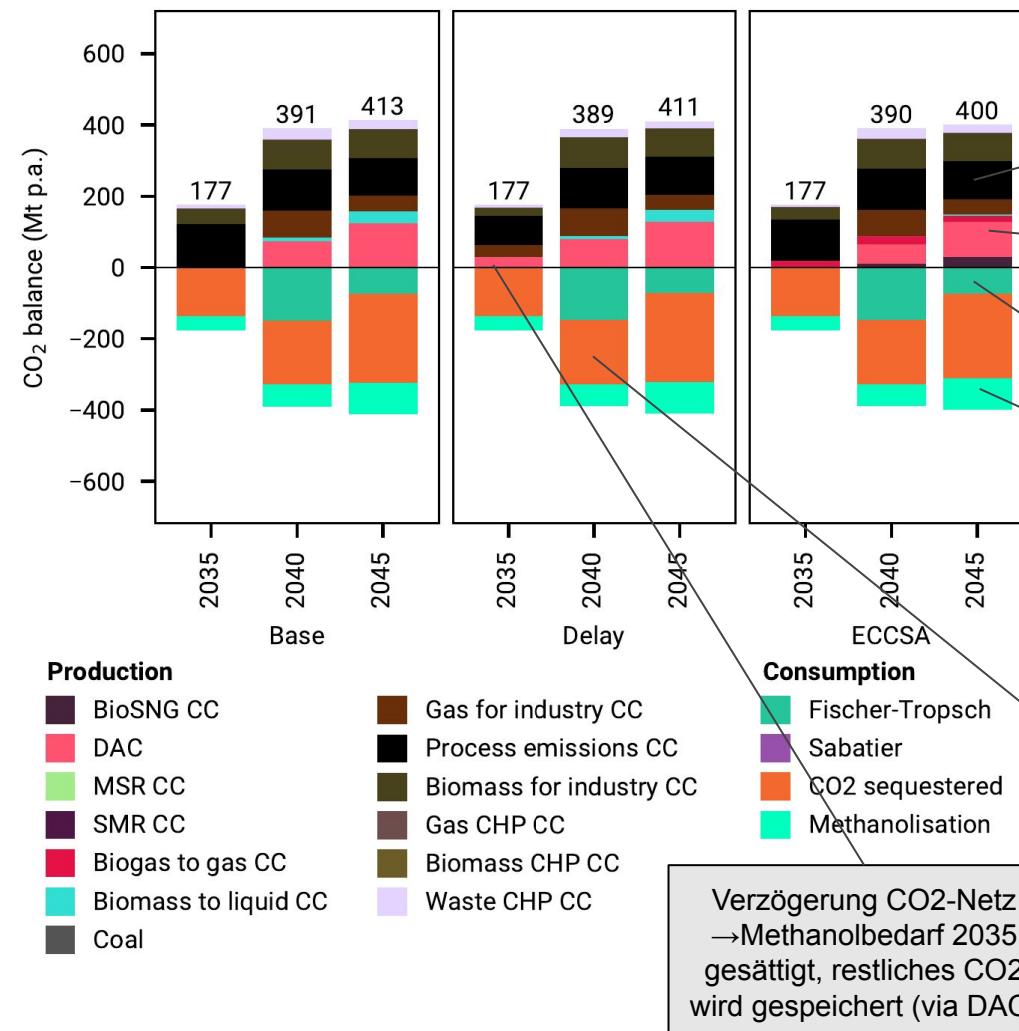
# Regionale Verteilung der CO2-Abscheidung und -Nutzung



# Regionale Verteilung der CO2-Abscheidung und -Nutzung



# CO<sub>2</sub> Bilanzen im Gesamtsystem



Verzögerung CO<sub>2</sub>-Netz  
→Methanolbedarf 2035  
gesättigt, restliches CO<sub>2</sub>  
wird gespeichert (via DAC)

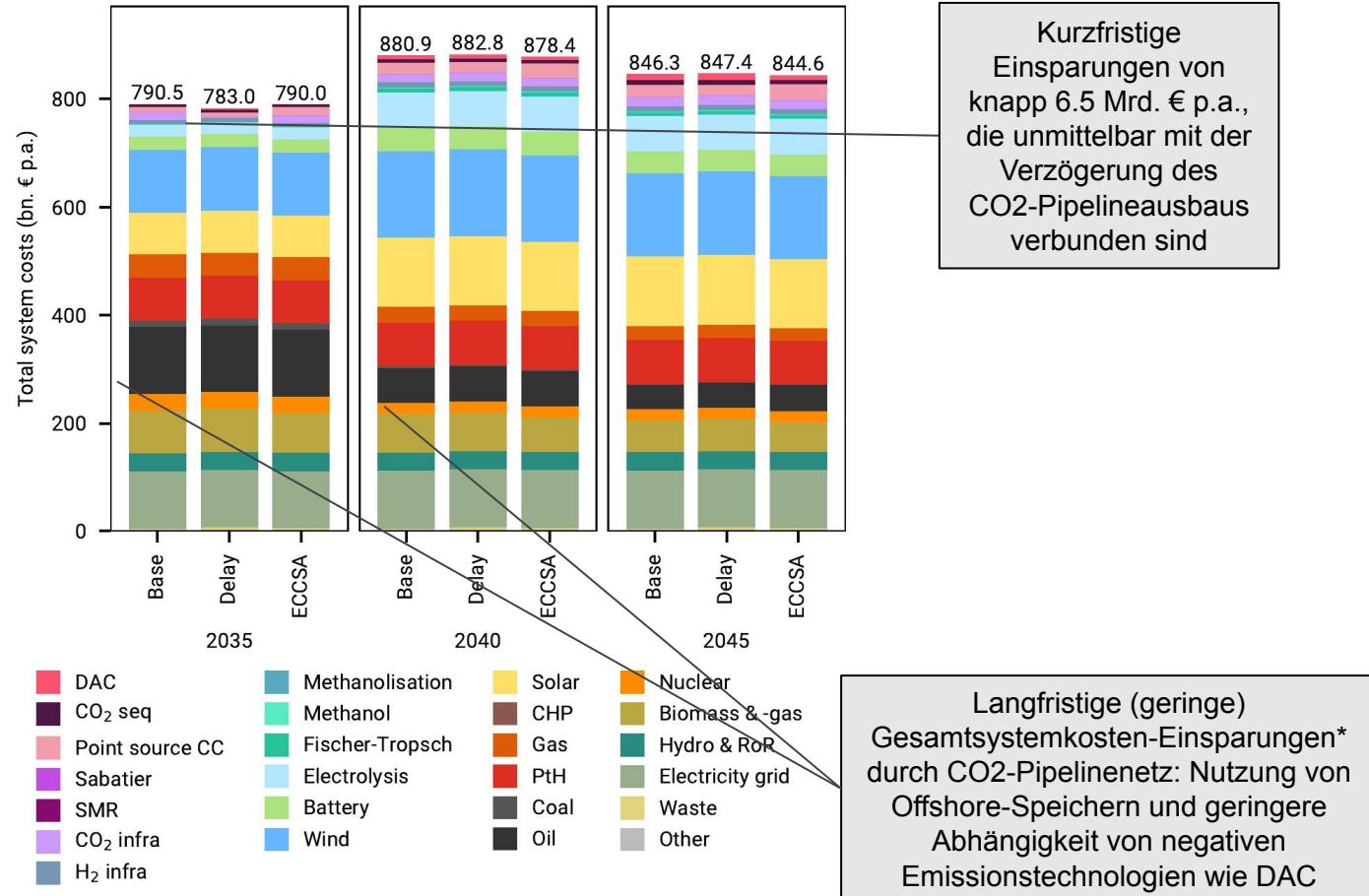
CO<sub>2</sub>-Emissionen  
überwiegend aus  
Prozessemissionen,  
KWK-Kraftwerken und DAC

Bei weiterer Adoption von  
CCS-Technologien kann die  
Nutzung von DAC reduziert  
werden.

Abgeschiedenes CO<sub>2</sub> wird  
u.a. auch zur Herstellung von  
synthetischer Kraftstoffe (via  
Fischer-Tropsch) und  
Methanol genutzt.

Großteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen  
wird offshore gespeichert.  
Das gesamt verfügbare  
Potential wird genutzt.

# Gesamtsystemkosten (annualisiert)



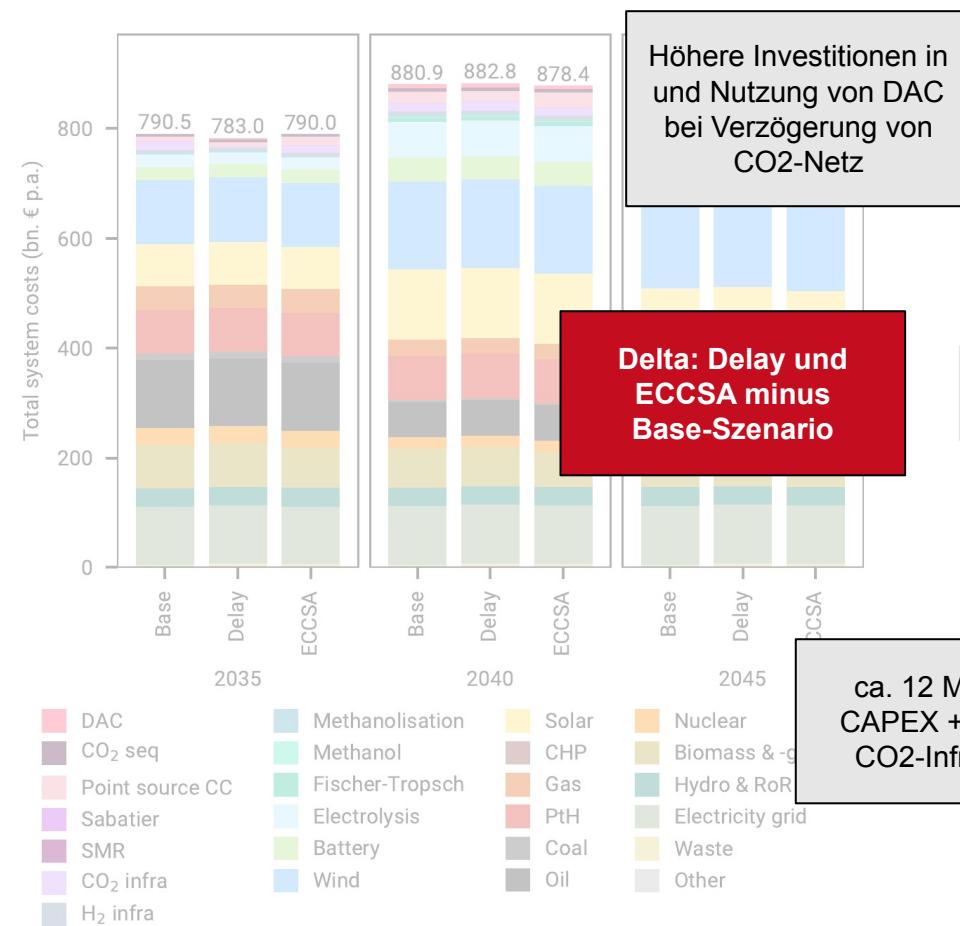
Kurzfristige  
Einsparungen von  
knapp 6.5 Mrd. € p.a.,  
die unmittelbar mit der  
Verzögerung des  
CO<sub>2</sub>-Pipelineausbaus  
verbunden sind

\*Relativ geringe Effekte durch den  
exogen vorgegebenen Zubau der  
Onshore-Pipelineinvestitionen:  
(i) Nicht alle CO<sub>2</sub>-Potenziale können  
ausgeschöpft werden.  
(ii) Systemseitig potenziell  
kostengünstigere alternative  
Pipelinepfade fehlen.

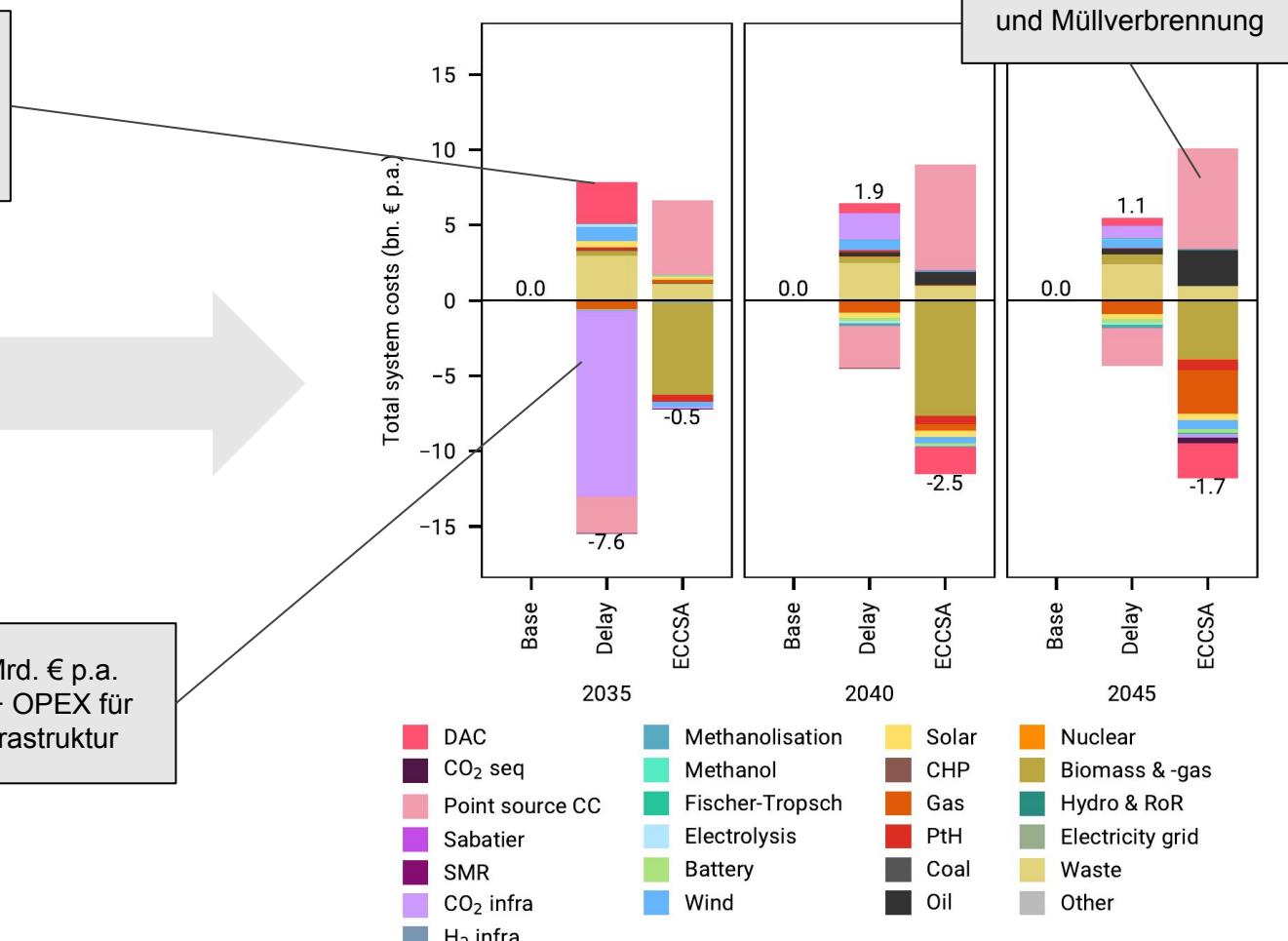
Langfristige (geringe)  
Gesamtsystemkosten-Einsparungen\*  
durch CO<sub>2</sub>-Pipelinenetz: Nutzung von  
Offshore-Speichern und geringere  
Abhängigkeit von negativen  
Emissionstechnologien wie DAC

**Annuitätische Systemkosten  
(CAPEX + OPEX)  
nach Technologiegruppen**

# Gesamtsystemkosten & Veränderungen



ca. 12 Mrd. € p.a.  
CAPEX + OPEX für  
CO<sub>2</sub>-Infrastruktur



## Erste Erkenntnisse und Ausblick

- Nutzung der Pipelines primär zur offshore CO2-Speicherung
- Pipeline-Verzögerung führt (aktuell im Modell) dazu, dass alternative Wege gefunden werden, um CO2 zu speichern (kostenintensiv durch DAC, DAC-Nutzung im Modell 2035 mit Vorsicht zu genießen und unwahrscheinlich)
- Geringfügige Erhöhung der Gesamtsystemkosten bei Verzögerung des CO2-Netzes

## Möglicher Ausblick & Input für nachfolgende Diskussion in World-Cafés

- Verbesserung der Modellparameter und -kosten
- Anpassung/Erweiterung der Szenarien und Sensitivitäten, z.B. Ausweitung CO2-Abscheidung
- Infrastruktur: Endogener CO2-Pipelineausbau (über das Plannetz hinaus)
- Kommerziell interessante Metriken/KPI?