



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



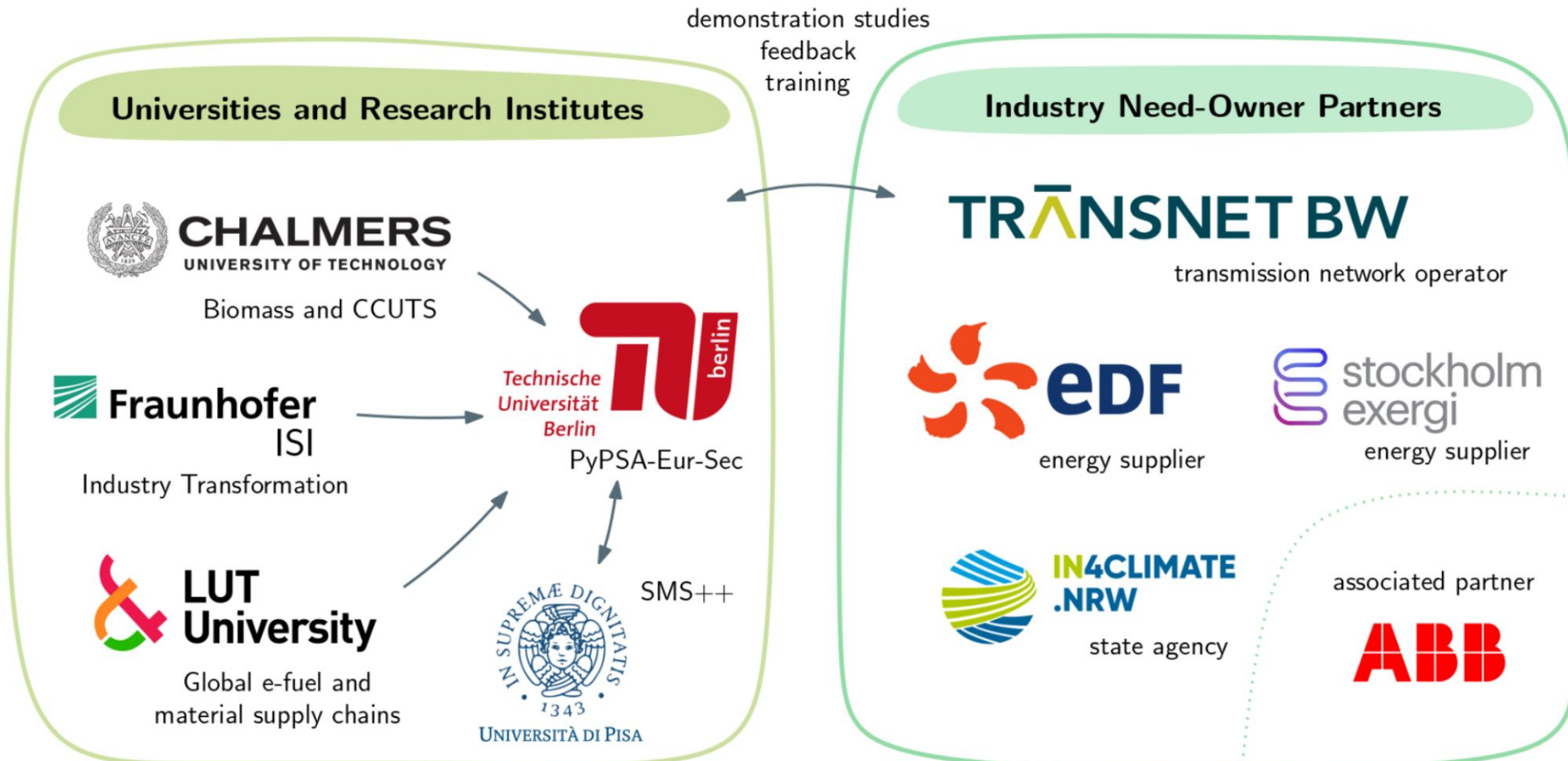
Sprintsitzung CO₂-Infrastruktur

Diskussion PyPSA-Eur Modellierung | 30.06.2026 | Wissenschaftspark Gelsenkirchen

Bobby Xiong, Khaled Al-Dabbas, Tobias Fleiter

Kurzvorstellung des RESILIENT-Projekts

Projektpartner



Förderung über das **CETPartnership 2022** Programm, sowie **BMWE** für die deutschen Projektpartner

<https://resilient-project.github.io/>

Hintergrund der Studie

Berücksichtigung der Rückmeldungen aus dem Workshop am 01.12.2025

Einbettung RESILIENT und IN4climate CO₂-Sprint

- Das **RESILIENT**-Projekt sieht u.a. eine **Fallstudie** zur Industriedekarbonisierung in Deutschland vor
- Fallstudie für **Nordrhein-Westfalen (NRW)**, durchgeführt von Fraunhofer ISI, IN4climate und TU Berlin
- Modellierung mit **PyPSA-Eur** und **FORECAST**, angepasst an NRW und funktional erweitert; Soft-Linking zwischen den beiden Modellen (d. h. Industriedaten aus FORECAST → PyPSA-Eur); hohe **lokale** regionale Auflösung (erstmalig für PyPSA-Eur), z.B. NRW auf NUTS3-Ebene

Ziel der Studie

- Analyse des **schrittweisen Aufbaus eines CO₂-Pipelinenetzes** in NRW und Deutschland sowie dessen Nutzung
- Bewertung vorgeschlagener (PCI-PMI) CO₂-Pipelineprojekte im **Vergleich zum endogenen Ausbau**
- Deliverables:
 - Modellierungsergebnisse & Foliensatz sowie Diskussion im Workshop (heute);
 - Policy Brief (koordiniert durch IN4climate, tbd.)

Weiterentwicklung seit dem Workshop 01.12.2025

- Verbesserung von Modellannahmen/-parametern sowie Methodik der Topologieoptimierung
- Detailliertere Abbildung der CO₂-Pipelines sowie **endogener CO₂-Pipelineausbau** über das PCI-PMI Plannetz hinaus
- Aktualisierung der Pipelinekapazitäten aus Rückmeldungen im CO₂-Sprint
- Hochlauf in drei Planungsjahren und **Entwicklung von vier konkreten Szenarien**

ANNAHMEN INDUSTRIE

Herleitung der Szenarien

Pipelinetopologien, CO₂-Speicherung und Abscheidepotentiale

Geplantes CO₂-Netz,
Offshore Speicherung und
begrenztes CCS

1.a

Effekt des endogenen
CO₂-Pipeline-Ausbaus

1.b

Effekt höherer
CO₂-Abscheidung

2.a

Effekt Onshore
Speicherung

2.b

Dimension / Szenario	HtA & PCI-PMI	HtA & endogener Pipelineausbau	HtA+ & endogener Pipelineausbau	HtA+ & Onshore-Speicherung
CO ₂ -Pipelineausbau	Geplante / feste Infrastruktur (PCI/PMI)	Endogene Pipelineoptimierung	Endogene Pipelineoptimierung	Endogene Pipelineoptimierung
CO ₂ -Speicherung	Offshore	Offshore	Offshore	Offshore + onshore
Umfang Abscheidepotentiale	Müllverbrennung, Zement, Kalk		Erweitert: Chemie, Prozesswärme, Stahl	

Annahmen für den Industriesektor

Hard-to-Abate und Hard-to-Abate+

	Hard-to-Abate (HtA)	Hard-to-Abate+ (HtA+)
THG-Minderungsziel 2045	Mindestens 95 % weniger Treibhausgase gegenüber 1990 im Industriesektor; Gesamtsystem 2045 Deutschland treibhausgasneutral.	
Wirtschaftliche Entwicklung	Kontinuierliches Wachstum mit leichtem Strukturwandel; Bruttowertschöpfung ca. +1 %/Jahr, neue Branchen entstehen.	
Biomasse	Energetischen Einsatz nicht ausweiten; Biomasse gezielt für Anwendungen ohne gute Alternativen nutzen.	
Effizienz & Circular Economy	Ambitionierte, aber realistische Steigerung von Energie- und Materialeffizienz sowie Kreislaufwirtschaft.	
Brennstoff-, Feedstock- & Prozesswechsel	Fokus auf Elektrifizierung, sofern technisch umsetzbar.	
CCS und CCU	Müllverbrennung, Zement, Kalk	Müllverbrennung, Zement, Kalk, Steam Cracker, große Chemieanlagen, Stahl (CH₄-DRI und BF/BOF)

Annahmen für den Industriesektor

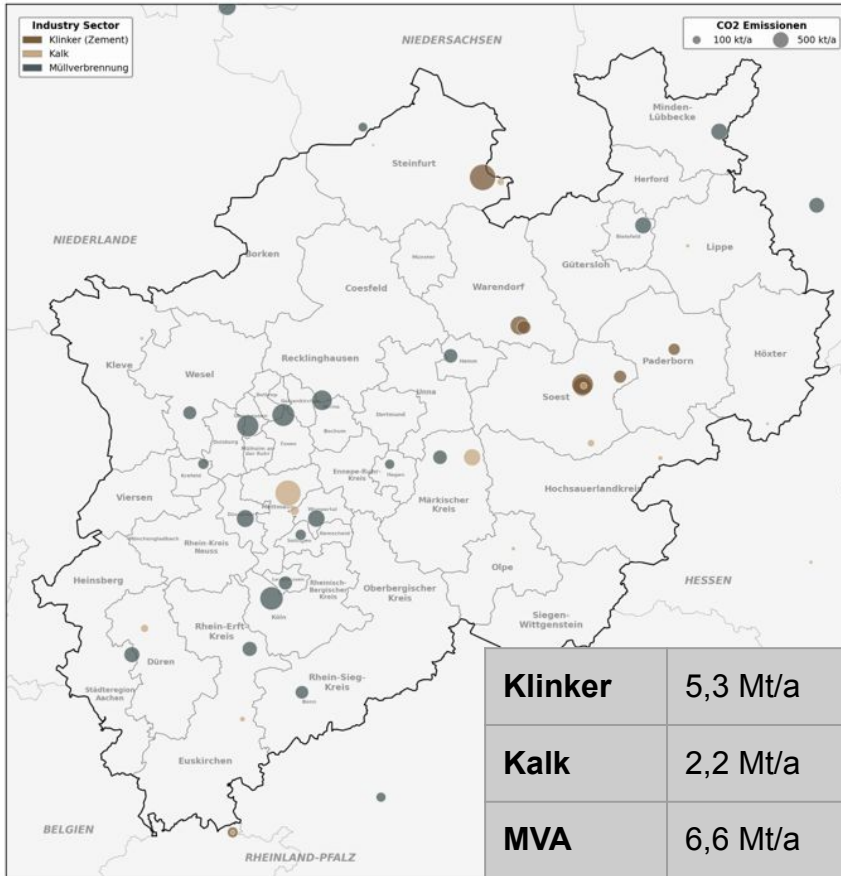
Stahl, Zement und Chemiegrundstoffe

Hebel	Stahl HtA	Stahl HtA+	Zement & Kalk	Chemie HtA	Chemie HtA+
Material-effizienz	Reduktion Nachfrage nach Rohstahl und Walzstahl: 10% ggü. Ref		Produktion Zement: -20% ggü. 2018 (bis 2045) Produktion konventioneller Klinker: -33% ggü. 2018 (bis 2045) Produktion Kalk: -40% ggü. 2018 (bereits bis 2030)	Reduktion und Ersatz Kunststoffverbrauch: 8% (Ethylen), Reduktion Düngerbedarf: 12% (Ammoniak)	
Kreislauf	Anteil Sekundärstahl steigt von 30% (2015) auf 49% in 2045	Anteil von Sekundärstahl bleibt konstant	Geringe Anteile neue Bindemittel (~10%) Klinkerfaktor von 73% in 2015 auf 65% in 2045	Mechanisches Recycling (+13%) Chemisches Recycling (20%)	keine Veränderung
Prozess-wechsel	H ₂ -DRI (Übergang CH ₄ -DRI) 2030:14 Mt DRI	CH ₄ -DRI beschränkt sich auf geförderte Projekte und erhalten CCS	Teilelektrifizierung, Ersatzbrennstoffe, Biomasse	H ₂ ->MtO/MtA (45%) El. Steamcracker + PtL (35%)	Verbleib der fossilen Routen, Steamcracker und Hochtempertur Prozesswärme mit CCS

Abbildung des Industriesektors im Modell

Räumliche Verteilung der abscheidbaren CO₂ Emissionen nach Industriesektor

Hard-to-Abate



Hard-to-Abate+

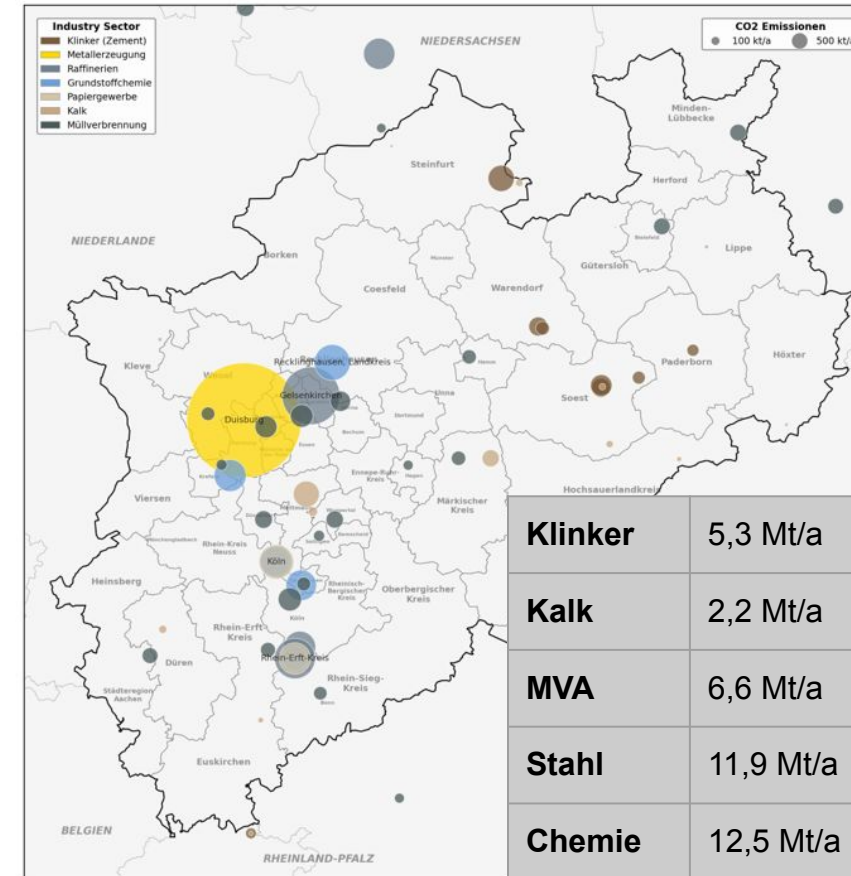
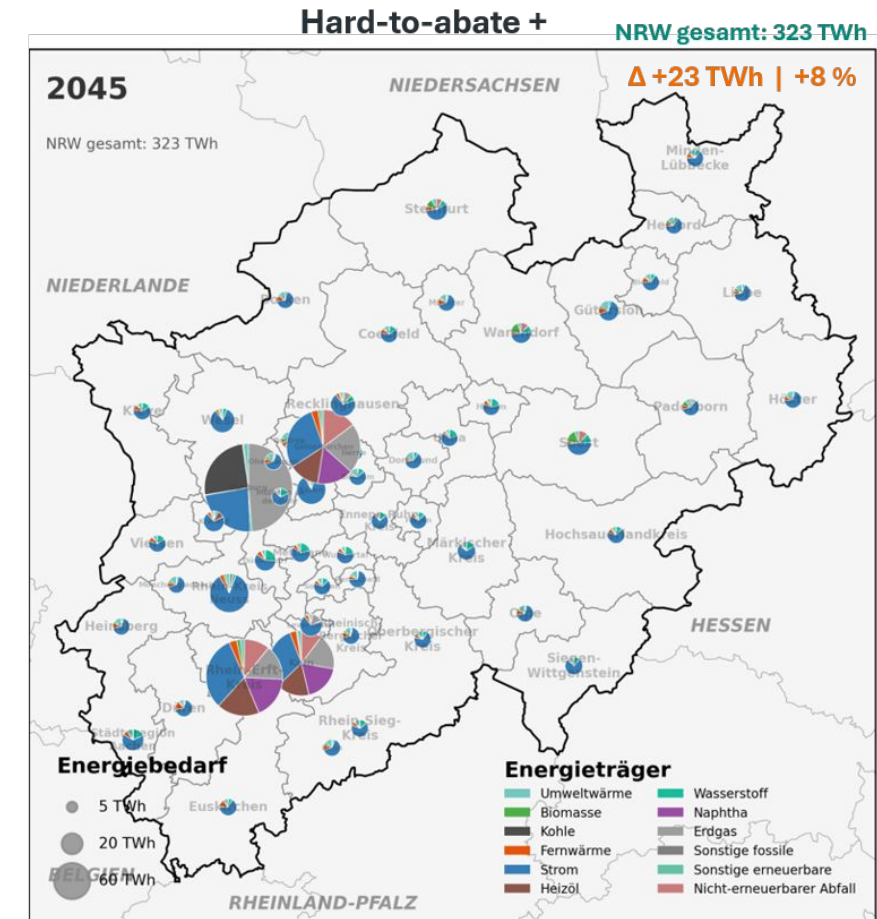
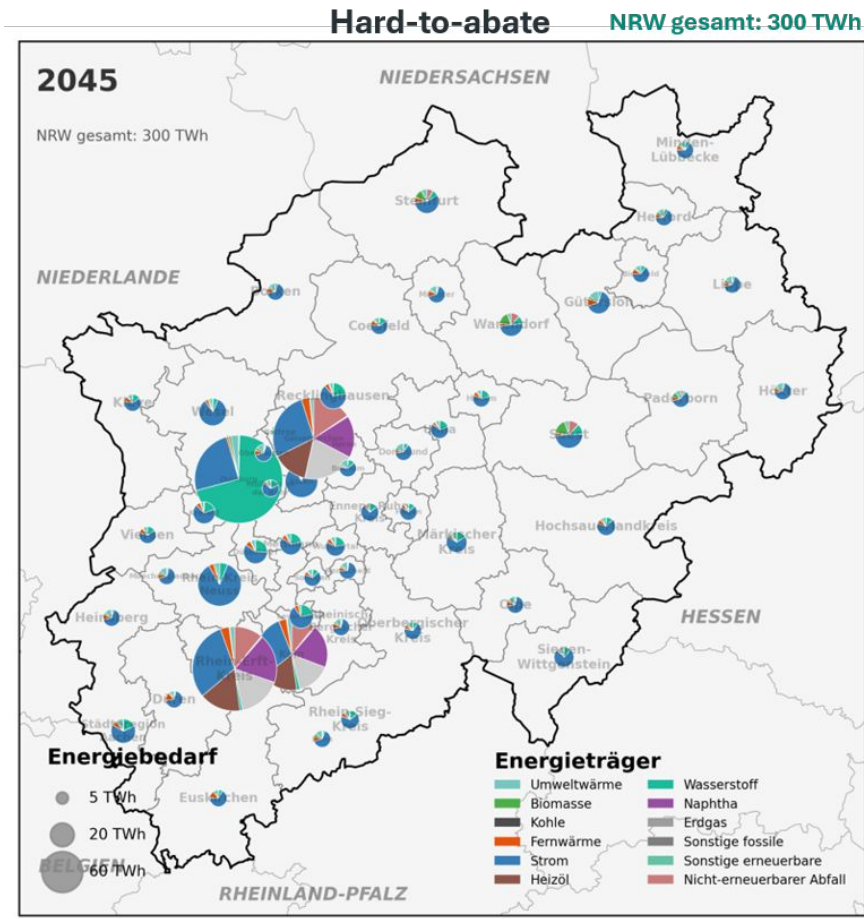


Abbildung des Industriesektors im Modell

Räumliche Verteilung des Energiebedarfs 2045 in Nordrhein-Westfalen

Hard-to-abate+ weist einen höheren Energiebedarf auf und bleibt zugleich stark von fossilen Energieträgern abhängig.



MODELL-SETUP

Szenarien und PyPSA-Eur Modellkonfiguration

Abgebildete Infrastruktur, Sektoren und regionale sowie zeitliche Auflösung

1.a

1.b

2.a

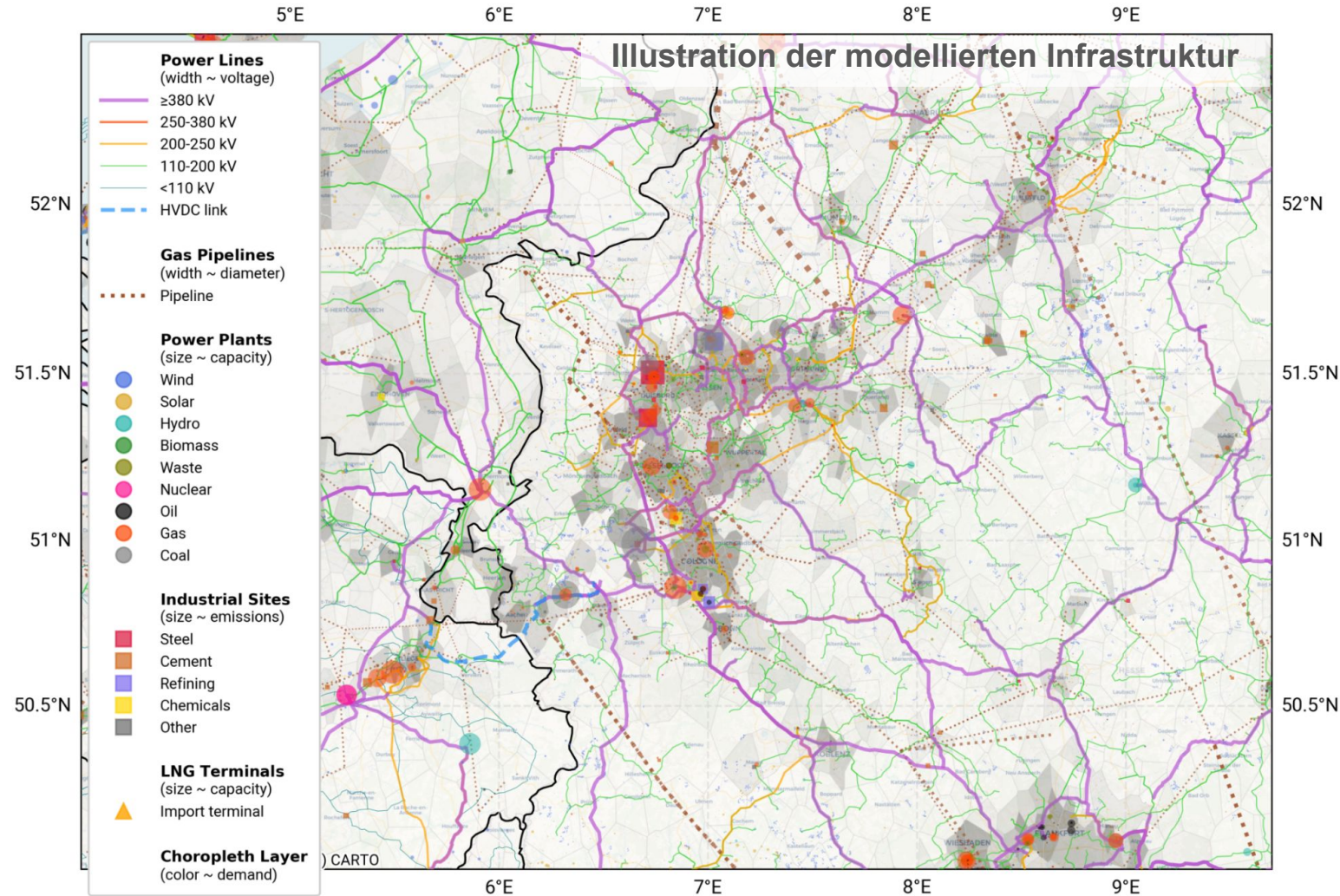
2.b

Dimension / Szenario	HtA & PCI-PMI	HtA & endogener Pipelineausbau	HtA+ & endogener Pipelineausbau	HtA+ & Onshore-Speicherung
CO ₂ -Pipelineausbau	Geplante / feste Infrastruktur	Endogene Pipelineoptimierung	Endogene Pipelineoptimierung	Endogene Pipelineoptimierung
CO ₂ -Speicherung	Offshore	Offshore	Offshore	Offshore + onshore
Umfang Abscheidemöglichkeiten	Müllverbrennung, Zement, Kalk		Erweitert: Chemie, Prozesswärme, Stahl	
Übertragungsnetz	Heutiges Hochspannungsnetz + Netzentwicklungsplan + Europäischer Ten-Year Network Development Plan			
Wasserstoffnetz	Endogener Pipelineausbau			
Regionaler und zeitlicher Scope	AT, BE, CH, CZ, DK, EE, FI, FR, GB, IT, LT, LU, LV, NL, NO, PL, SE, SI, SK Nordrhein-Westfalen (NUTS3, Landkreise und kreisfreie Städte), Rest DE (NUTS1, Bundesländer), ca. 80 Reg. myopischer Planungshorizont: 2035, 2040, 2045 (je 1460 Zeitschritte pro Jahr , tsam clustering)			
Sektoren	Strom, Wärme, Industrie , Biomasse, Transport, Luft- und Schifffahrt, Landwirtschaft: inelastischer Primärenergiebedarf (u.a. Strom, Kraftstoffe , Wärme, etc.)			

Szenarien und PyPSA-Eur Modellkonfiguration

Abgebildete Infrastruktur, Sektoren und regionale sowie zeitliche Auflösung

Dimension / Szenario
CO ₂ -Pipelineausbau
CO ₂ -Speicherung
Umfang Abscheidemöglichkeiten
Übertragungsnetz
Wasserstoffnetz
Regionaler und zeitlicher Scope
Sektoren



2.b

HtA+ & Offshore-Speicherung

Endogene Pipelineoptimierung

Offshore + onshore

Stahlschwärme, Stahl

Development Plan

Stahlschlinder, ca. 80 Reg. im clustering)

Stahlschlinder:

PyPSA-Eur Gesamtsystemdarstellung

Abgebildete Sektoren, Entscheidungsvariablen & Parameter in dieser Studie

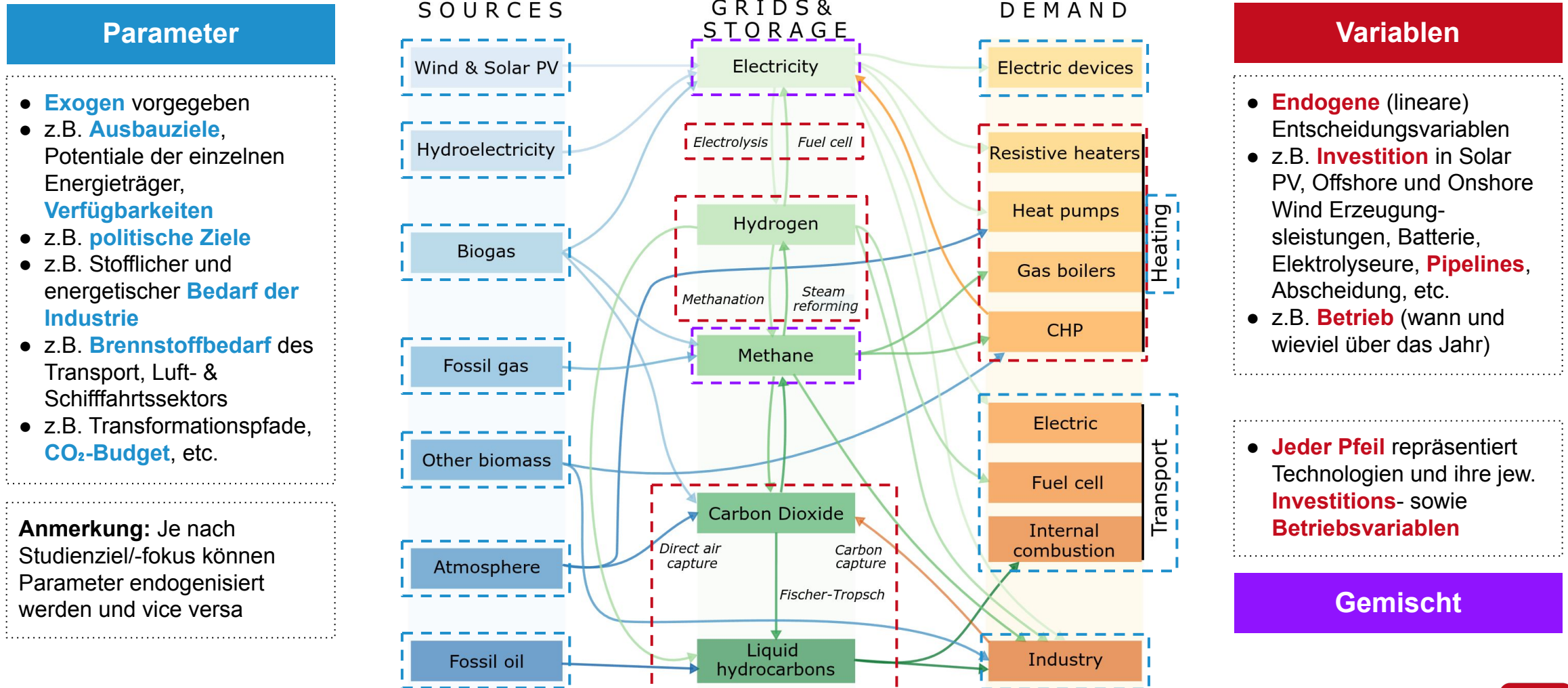
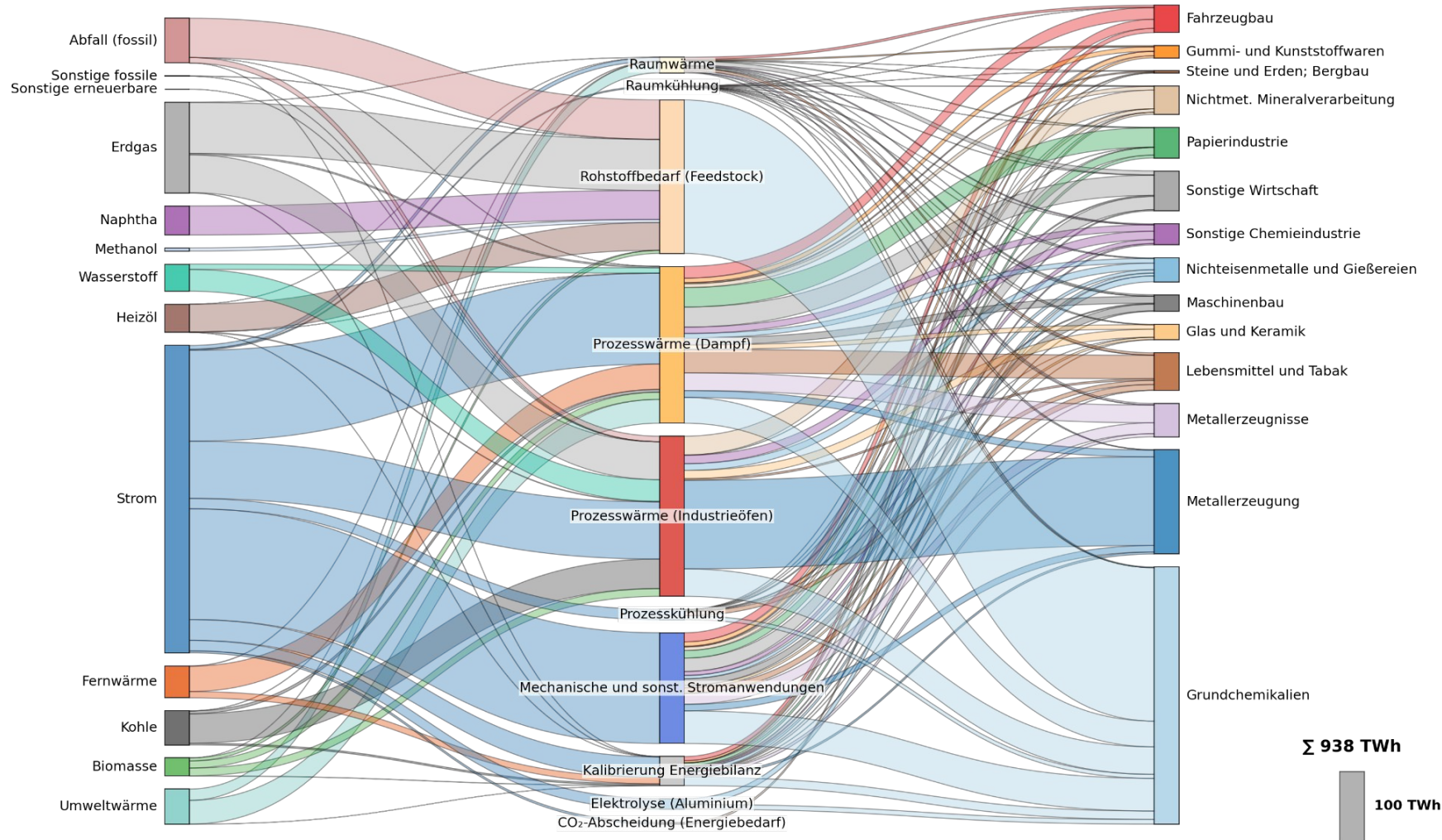


Abbildung der Industrie im PyPSA-Eur Modell

Hard-to-Abate+ Szenarien (2.a. & 2.b.): Planungsjahr 2045

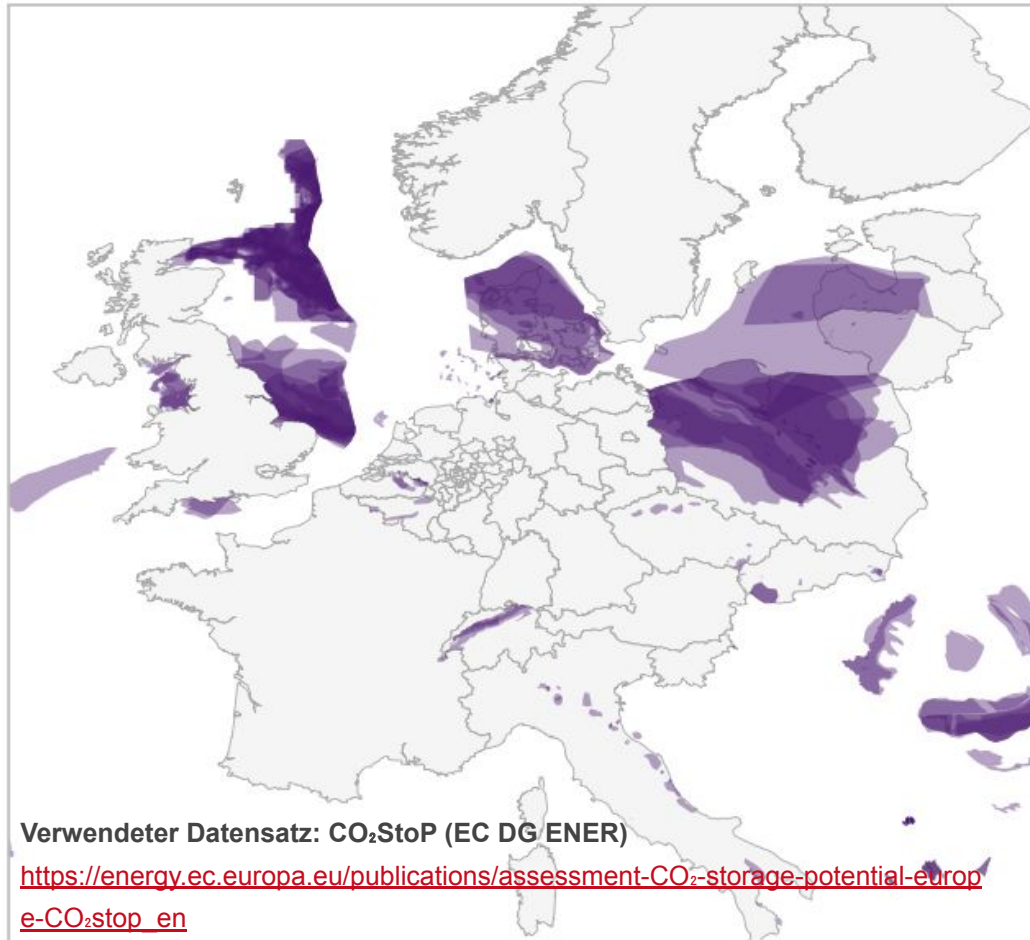


Das Diagramm zeigt die industrielle Energienachfrage in DE, aufgeschlüsselt nach **Energieträger** (links), **Verwendungszweck** (Mitte) und **Industriesektor** (rechts). Die Nachfrage entstammt den exogenen **FORECAST**-Szenarien und fließt räumlich verteilt als Last in **PyPSA-Eur** ein.

Modellparametrierung

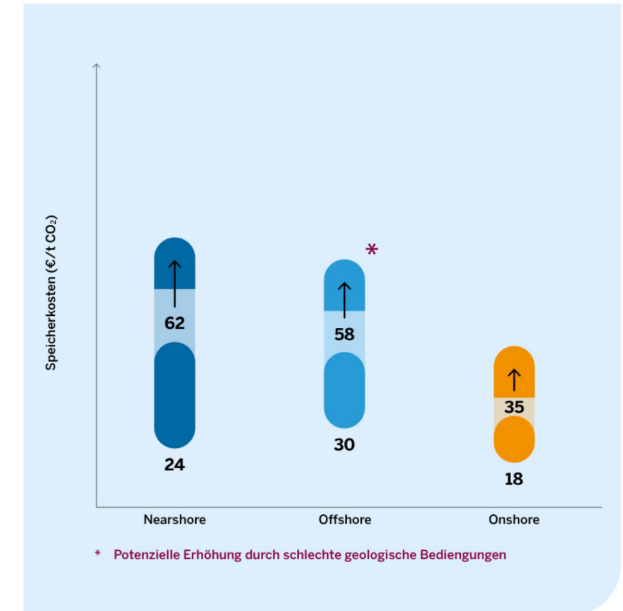
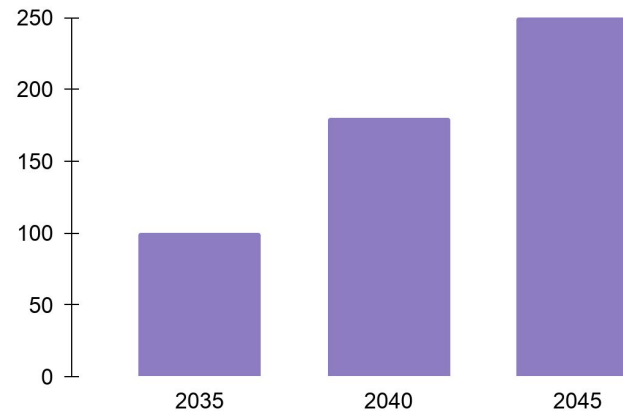
CO₂ Speicherpotentiale off- und onshore

Illustration der CO₂-Speicherpotentiale



- CO₂-Speicherkosten exogen: 30 €/t CO₂
- Damit eher optimistisch/niedrig angenommen
- Speicherpotential auf 100-250 Mtpa limitiert (s. Diagramm)
- Geologisches Potential höher
- Zusätzlich PCI-PMI Projekte aus der IN4climate CCU/CCS Projekt-datenbank

CO₂-Speicherlimit im Modellsystem (Mtpa)

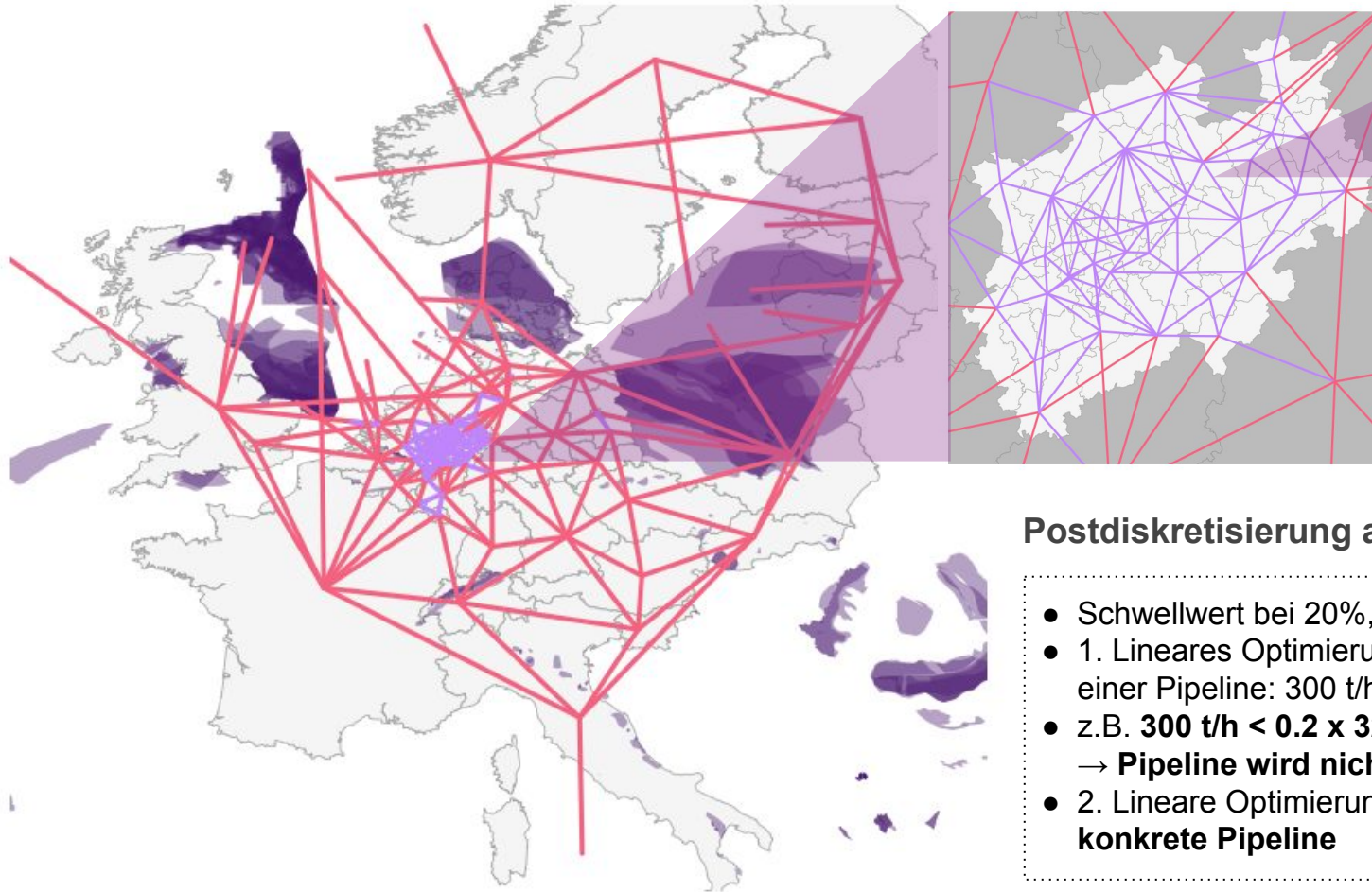


Auszug aus:
Carbon Capture and Storage Eine Kostenanalyse (NRW.Energy4Climate 2026)
<https://www.energy4climate.nrw/publikation/carbon-capture-and-storage-eine-kostenanalyse>

Endogene Pipelineinvestitionsentscheidungen

Methodik: Delaunay-Triangulierung & Postdiskretisierung

Illustration der Pipeline-Investitionskandidaten (sog. Delaunay/Gabriel-Graph)



Pipelinegrößen (dichte Phase)

- DN700: ~28 Mtpa ~3298 t/h
- DN400: ~9 Mtpa ~1012 t/h

- Jede Region kann mit jeder Nachbarregion verbunden werden
- Gemischt-Ganzzahlige Probleme zu komplex
- Daher pro Planungsjahr zwei lineare Optimierungen, erst linear Größen, darauffolgend sog. Postdiskretisierung, "gerundet" auf diskrete Vielfache

Postdiskretisierung am Beispiel einer DN700 Pipeline

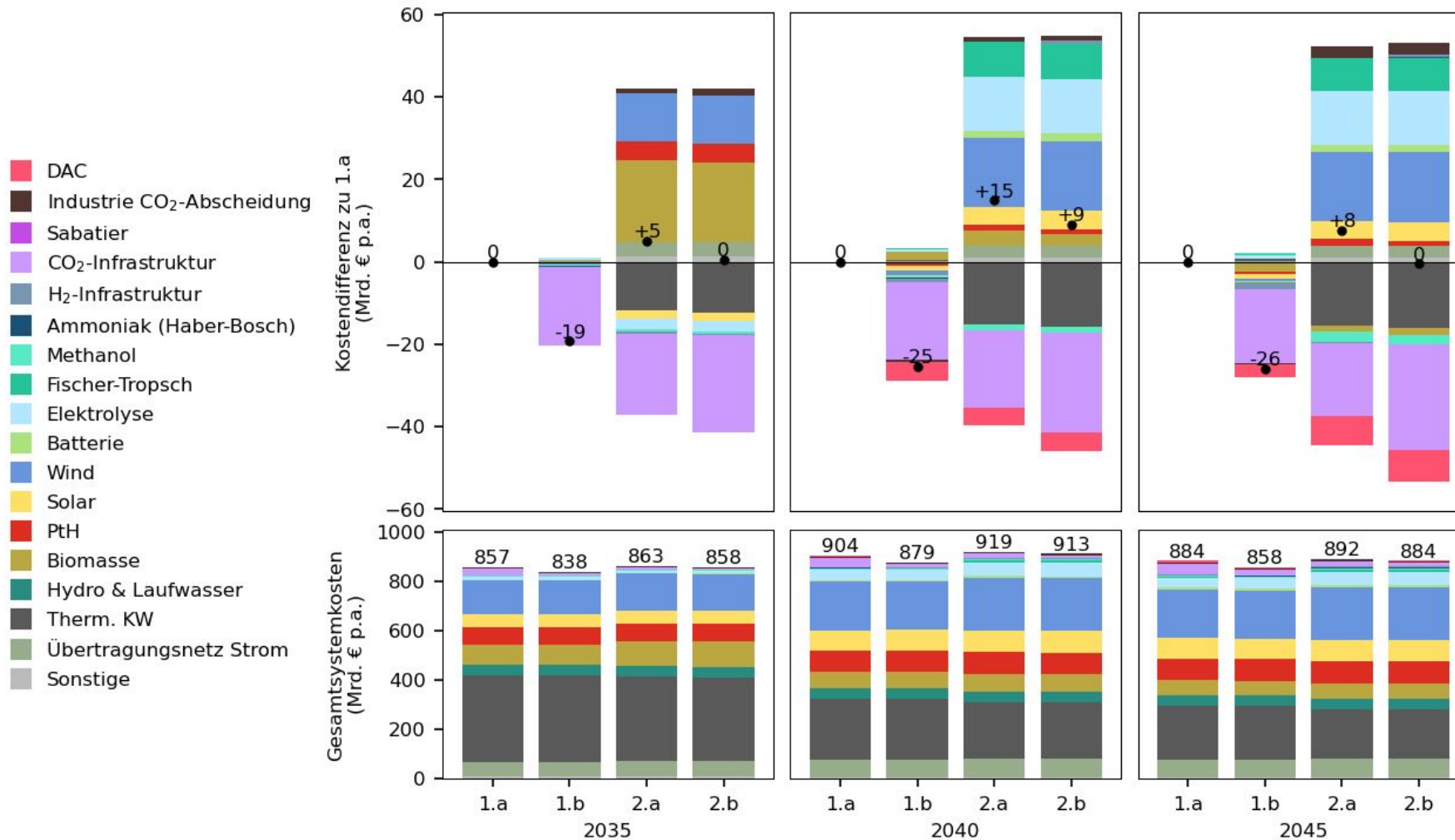
- Schwellwert bei 20%, bedeutet
- 1. Lineares Optimierungsergebnis einer Pipeline: 300 t/h Kapazität
- z.B. $300 \text{ t/h} < 0.2 \times 3298 \text{ t/h}$
→ **Pipeline wird nicht gebaut**
- 2. Lineare Optimierung **ohne die konkrete Pipeline**

- Schwellwert bei 20%, bedeutet
- 1. Lineares Optimierungsergebnis einer Pipeline: 1000 t/h Kapazität
- z.B. $1000 \text{ t/h} > 0.2 \times 3298 \text{ t/h}$
→ **Pipeline wird gebaut**
- 2. Lineare Optimierung **mit gesetzter konkreten Pipeline**

ERGEBNISSE

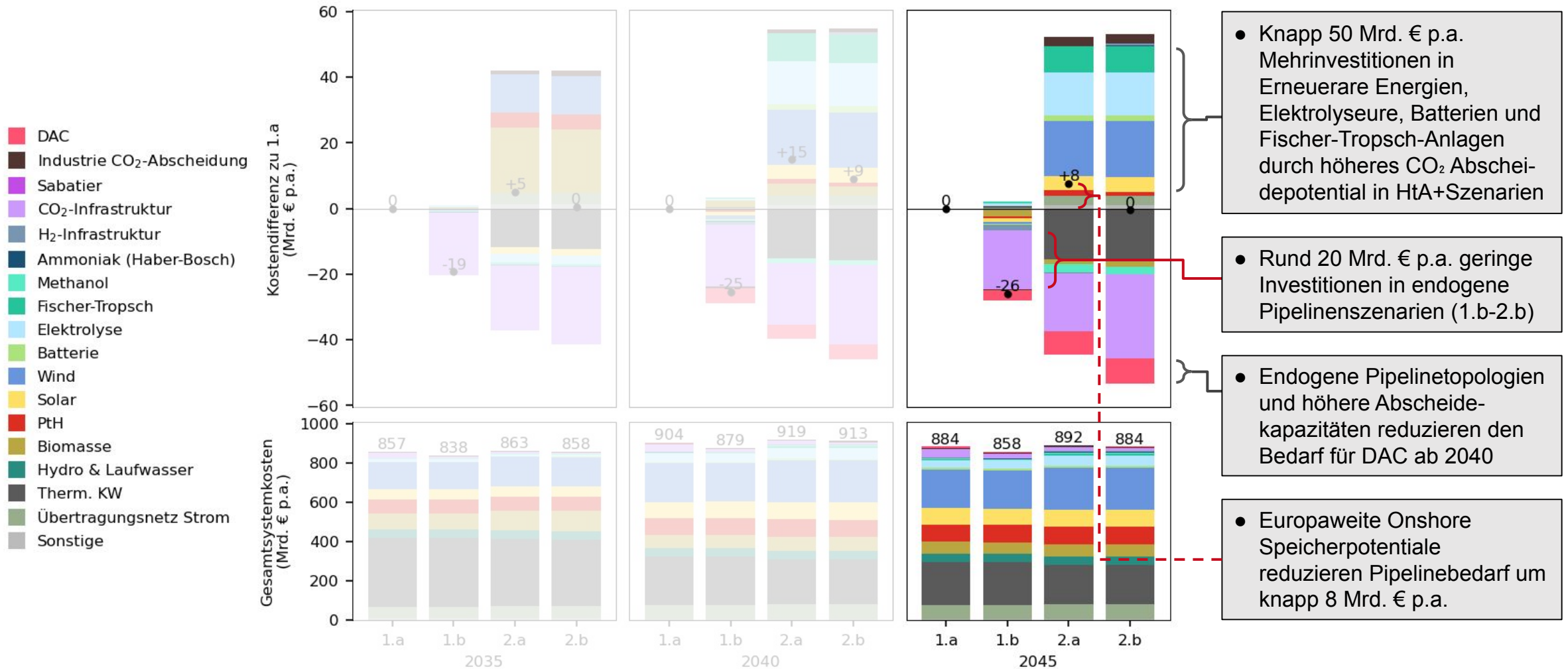
Investitions- & Betriebskosten

Annuierte Gesamtkosten (Europa) und Vergleich



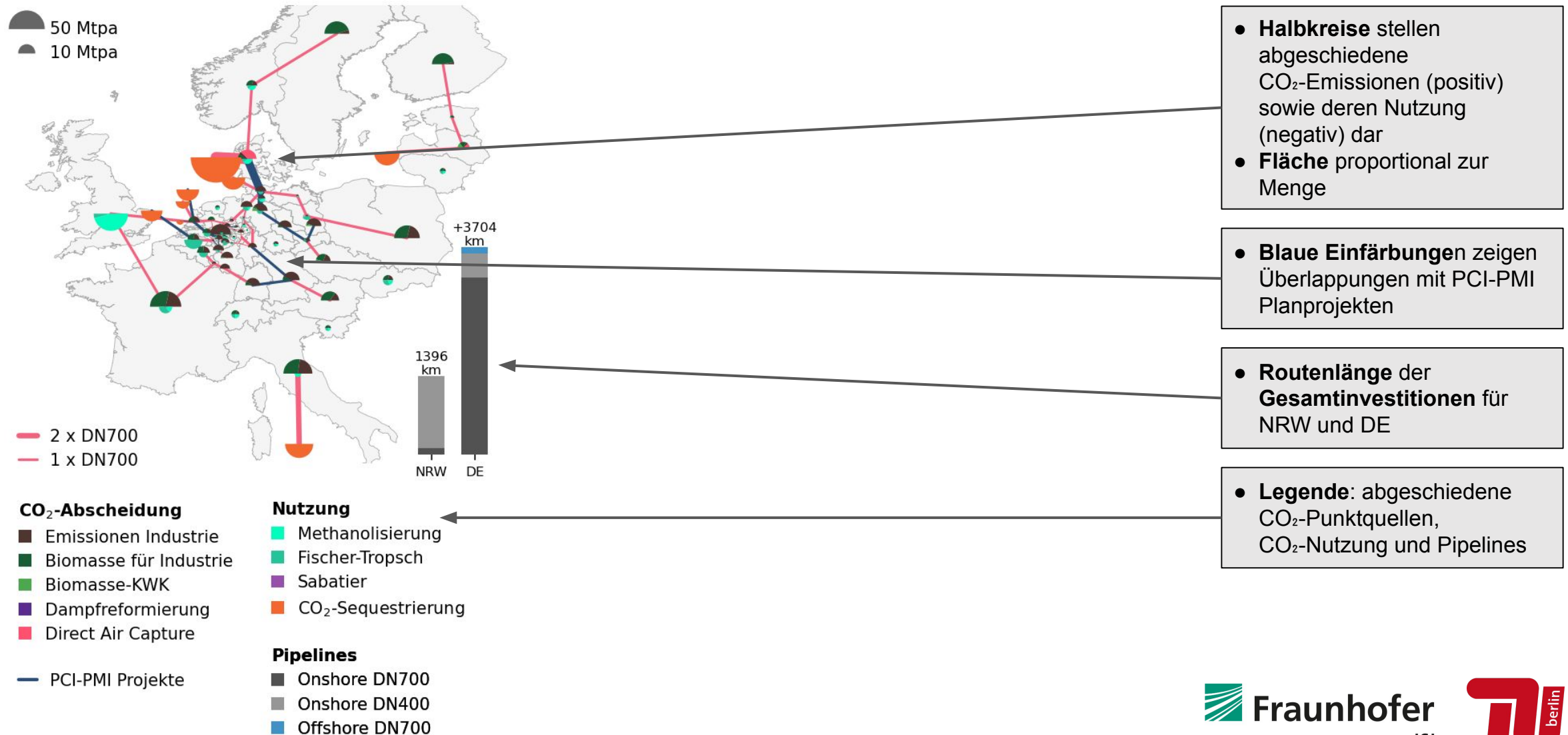
Investitions- & Betriebskosten

Annuierte Gesamtkosten (Europa) und Vergleich



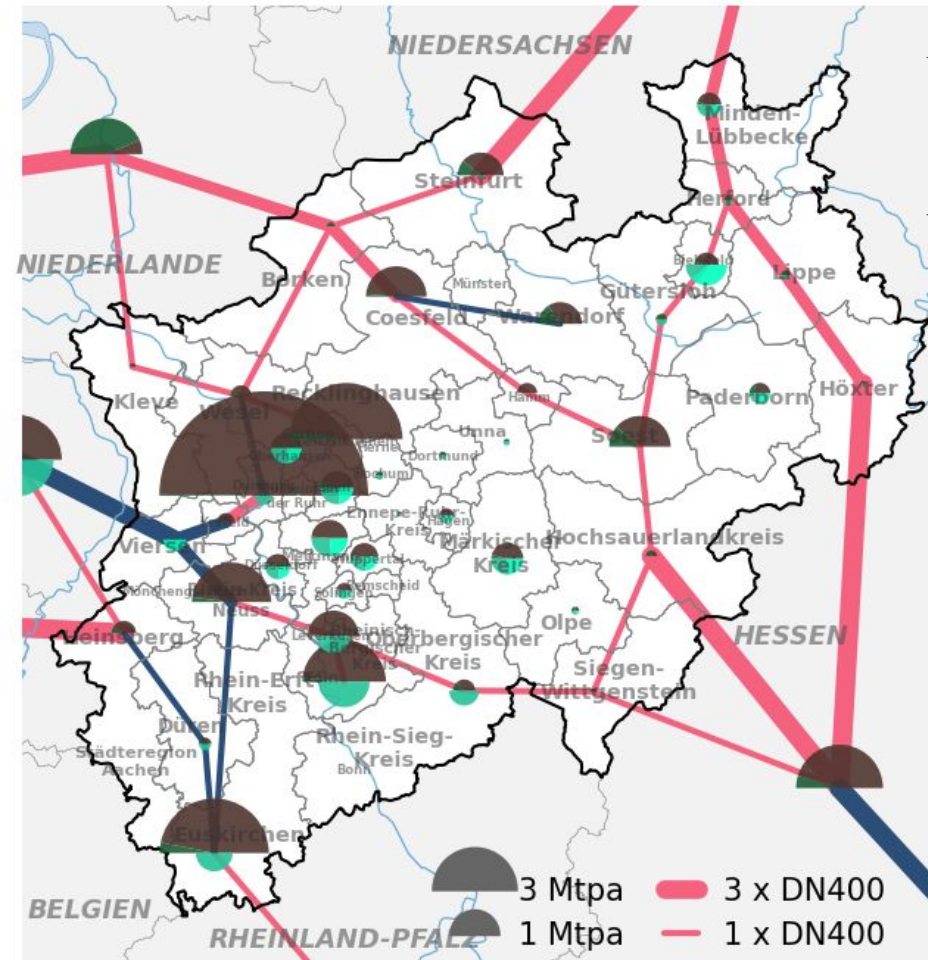
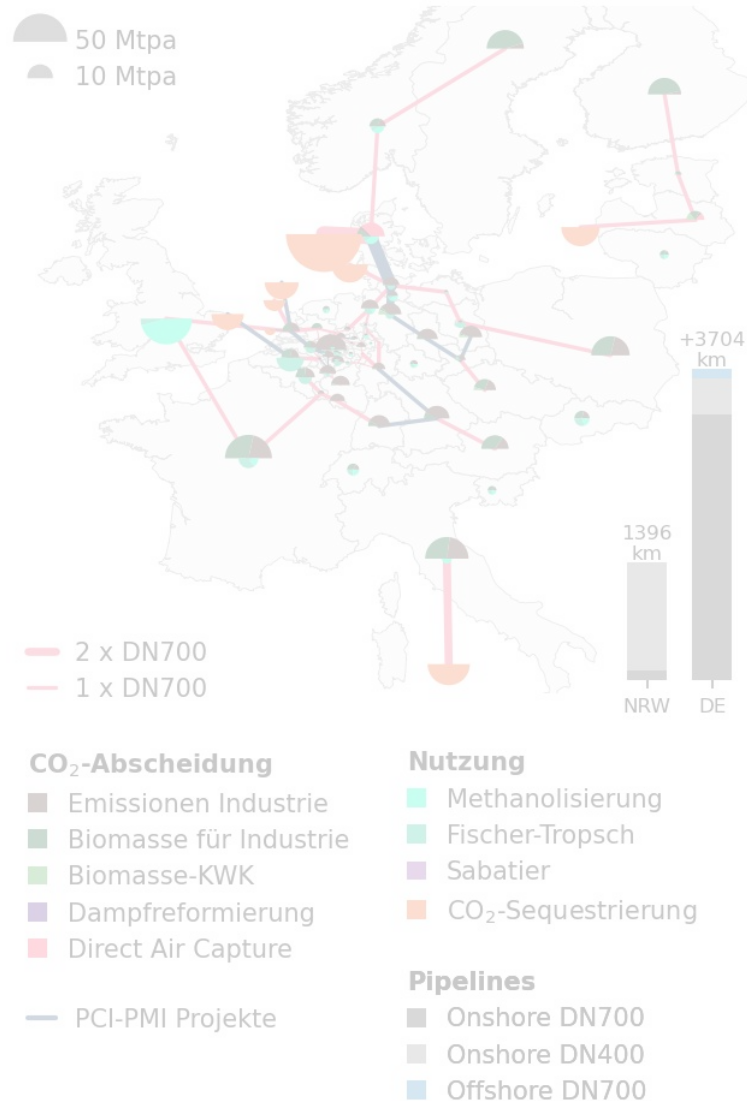
CO₂ Pipeline Kapazitäten und regionale CCS/CCU-Bilanz

Erklärung der einzelnen Karten: Gesamtsystem (links)



CO₂ Pipeline Kapazitäten und regionale CCS/CCU-Bilanz

Erklärung der einzelnen Karten: Nordrhein-Westfalen (rechts)

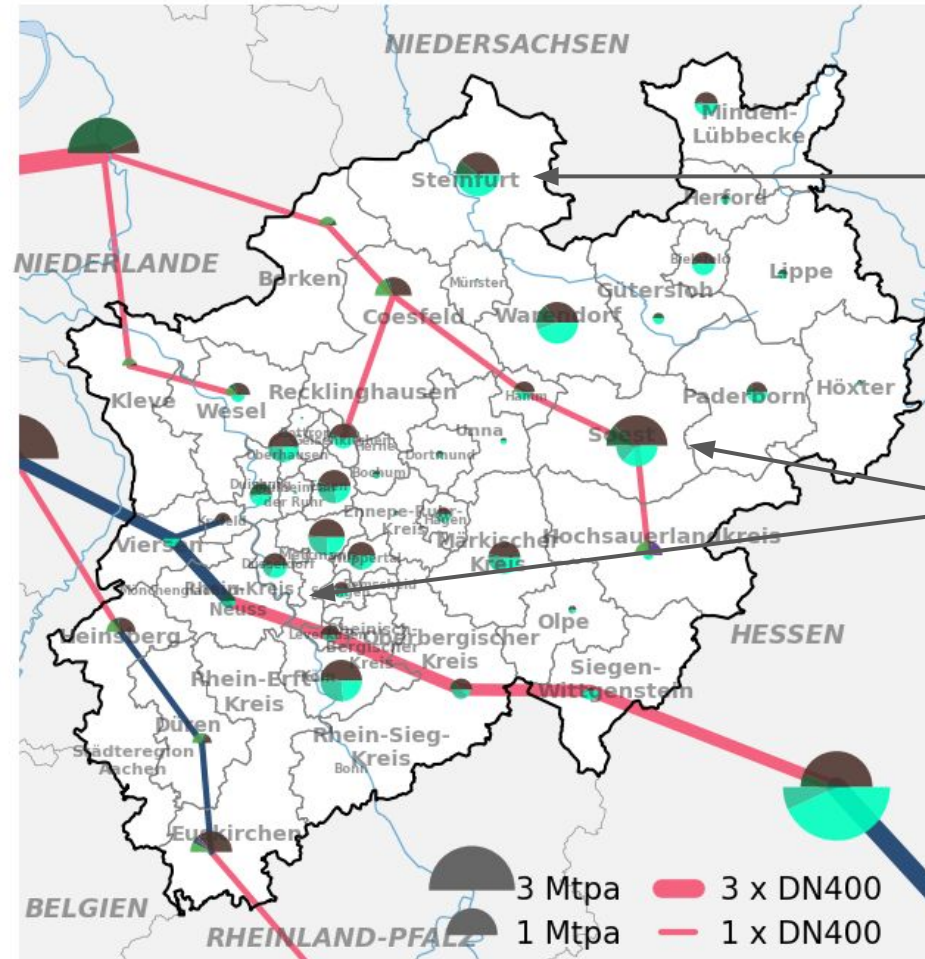
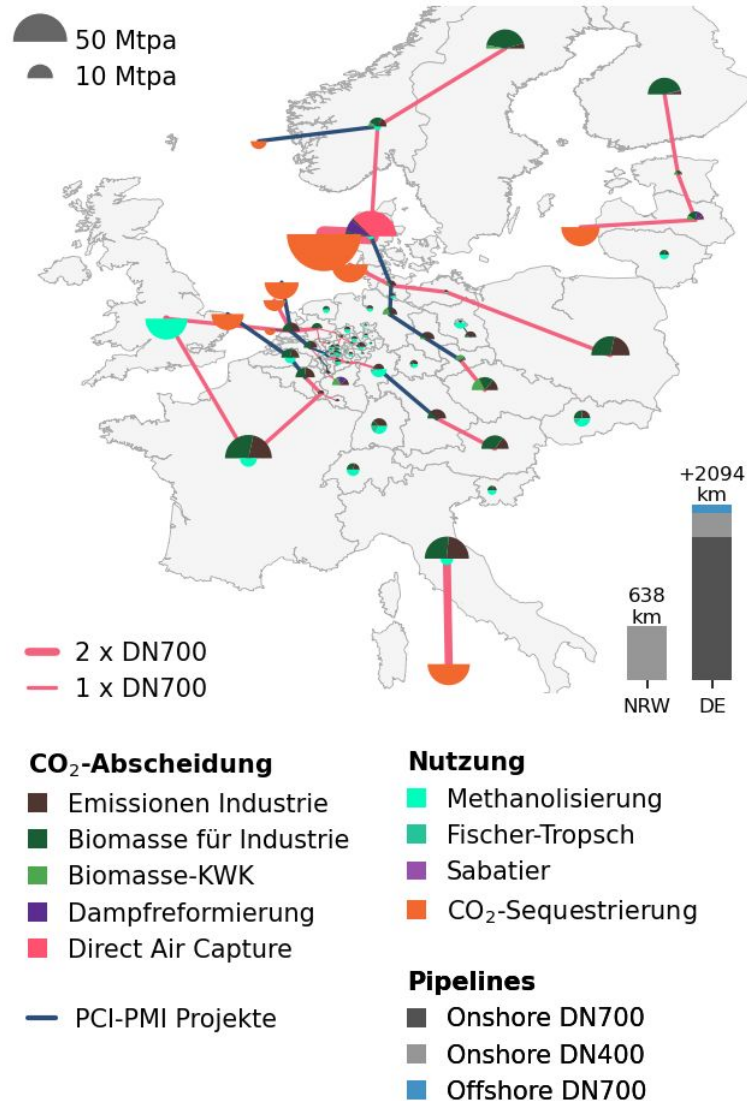


• Detaillierte Darstellung der Region NRW

• Dicke der Verbindungen zeigt Kapazitäten der Pipeline- Investitionen an

CO₂ Pipeline Kapazitäten und regionale CCS/CCU-Bilanz

1.b. Hard-to-Abate & endogener Pipelineausbau (2045)

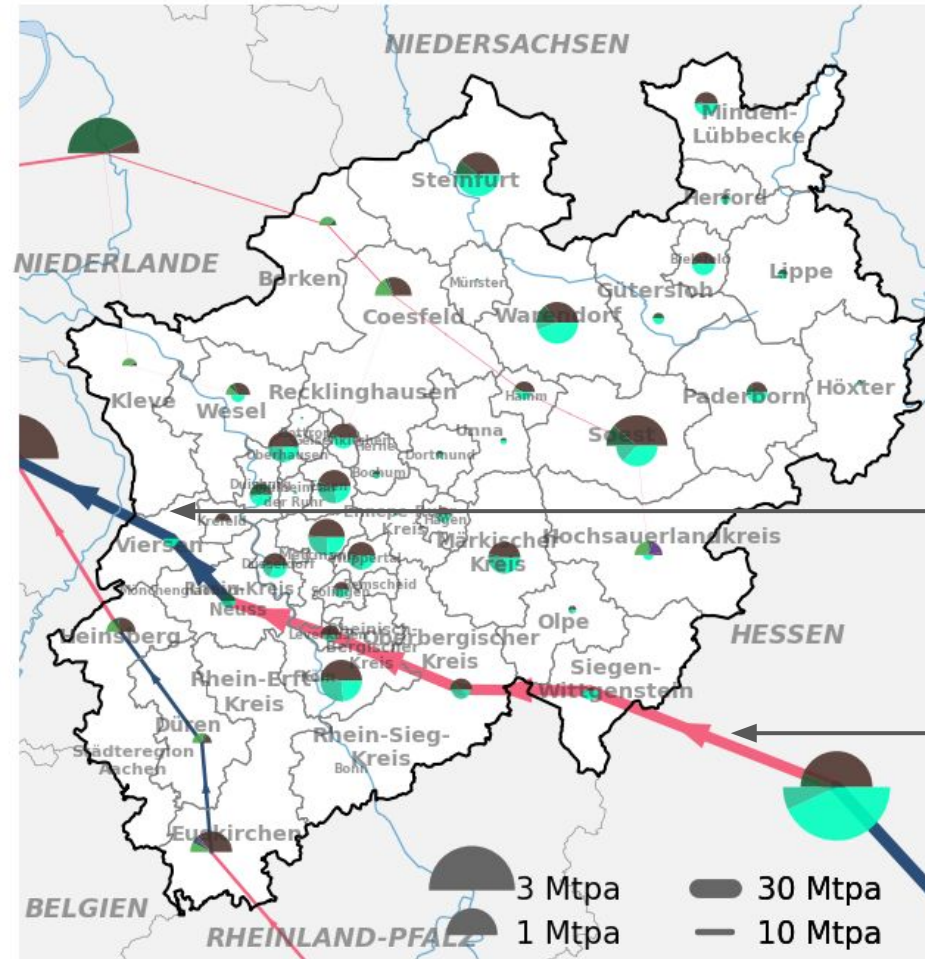
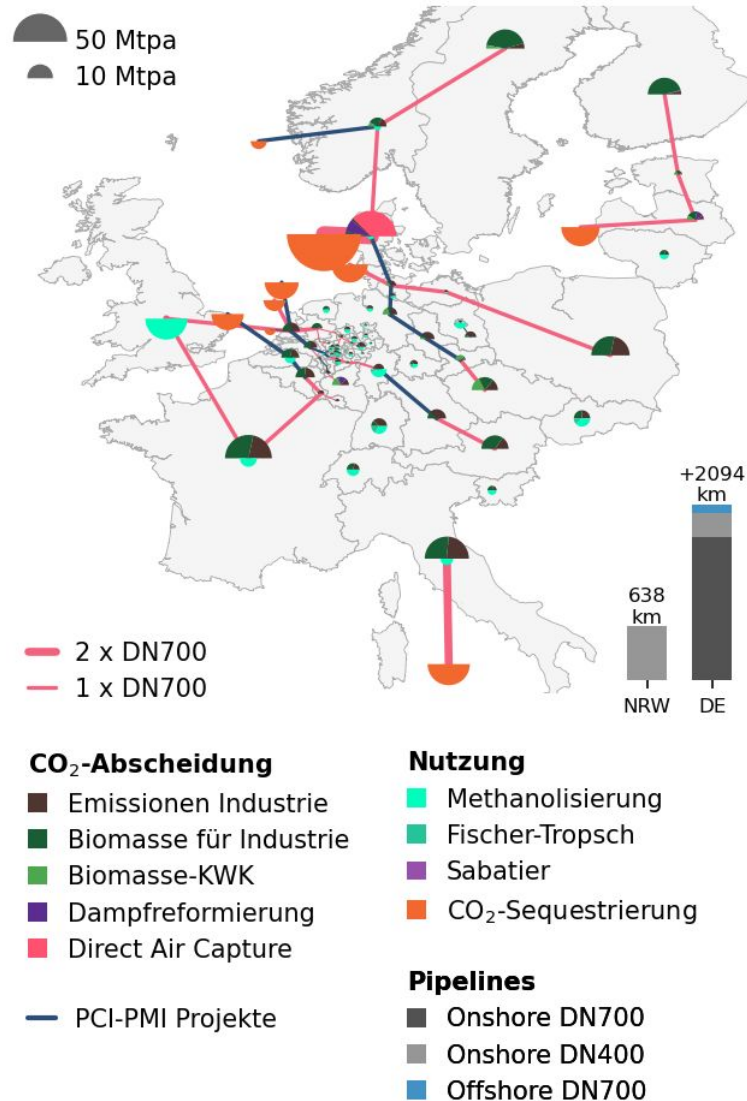


- Anbindung an Pipelinenetz nicht überall lohnenswert. Stattdessen **lokale Nutzung**: Methanolisierung und Fischer-Tropsch (exogener Bedarf)
- **Anmerkung**: in der Realität wsl. zentrale CCU-Anlagen und nicht so verteilt

- Anbindung der **Zementwerke** in Soest und **MVA** im Ruhrgebiet

CO₂ Pipeline Kapazitäten und regionale CCS/CCU-Bilanz

1.b. Hard-to-Abate & endogener Pipelineausbau (2045): Transportflüsse NRW

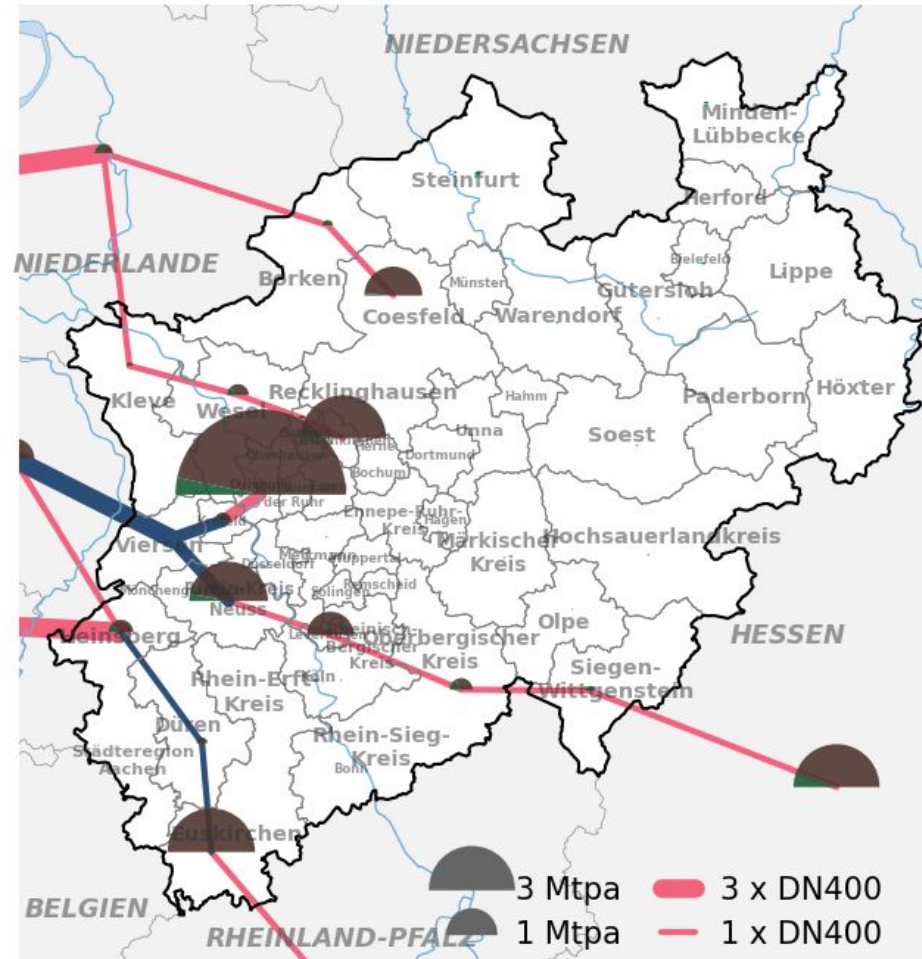
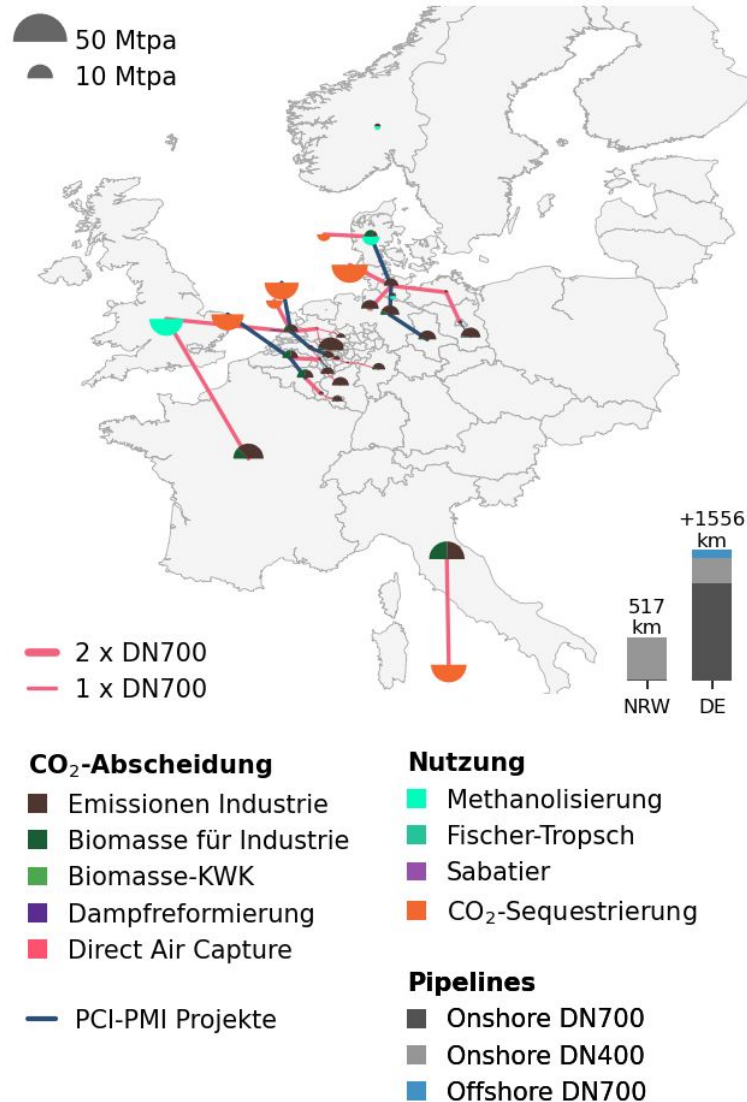


- Abtransport zur Speicherung in den Niederlanden (offshore)

- Transit von CO₂-Mengen aus Punktquellen in Österreich, Bayern und Hessen

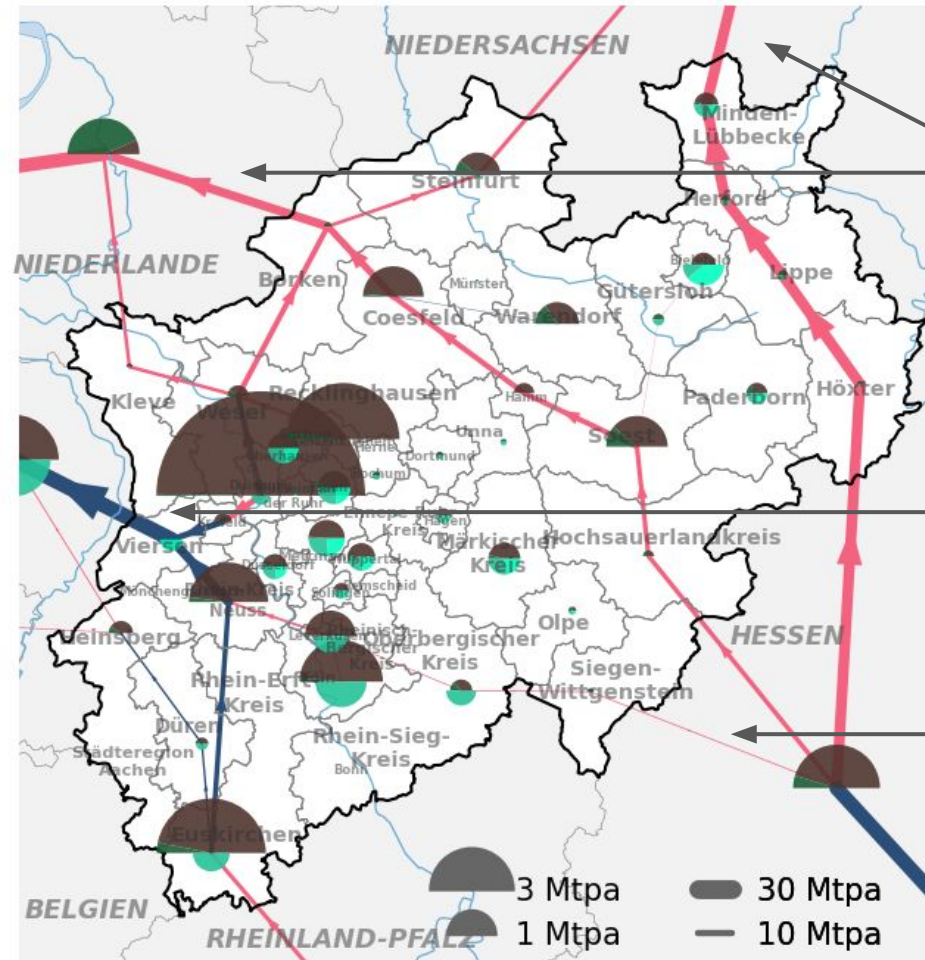
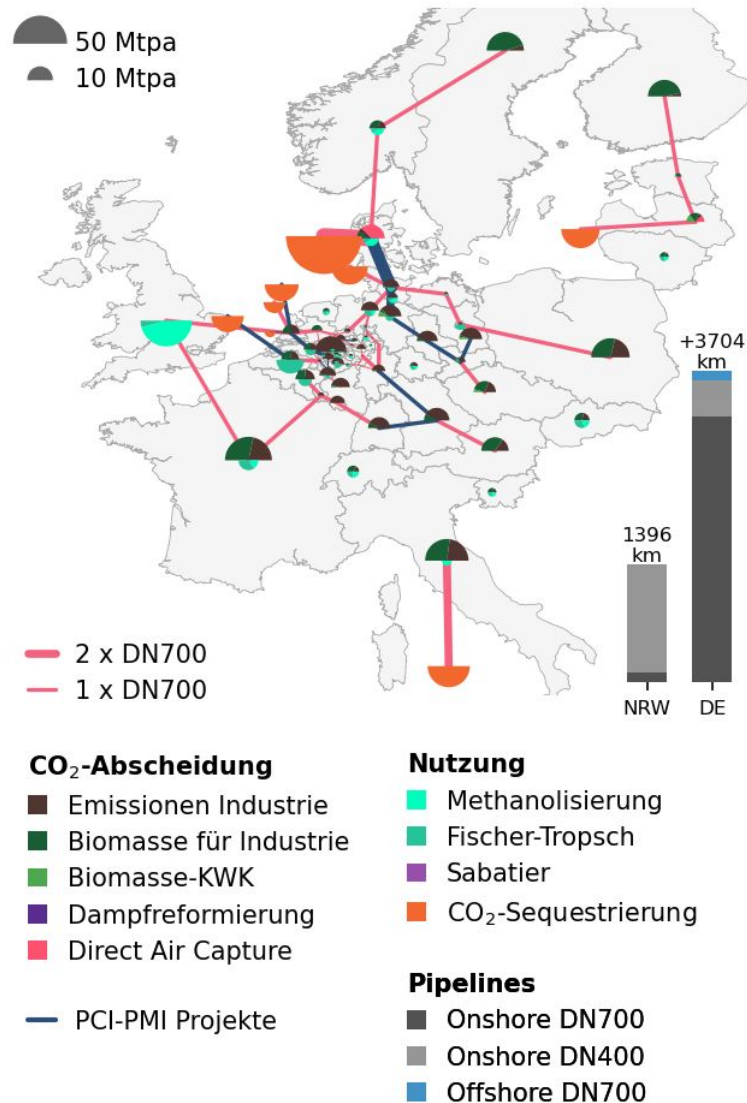
CO₂ Pipeline Kapazitäten und regionale CCS/CCU-Bilanz

2.a. Hard-to-Abate+ & endogener Pipelineausbau (2035)



CO₂ Pipeline Kapazitäten und regionale CCS/CCU-Bilanz

2.a. Hard-to-Abate+ & endogener Pipelineausbau (2045): Transportflüsse NRW



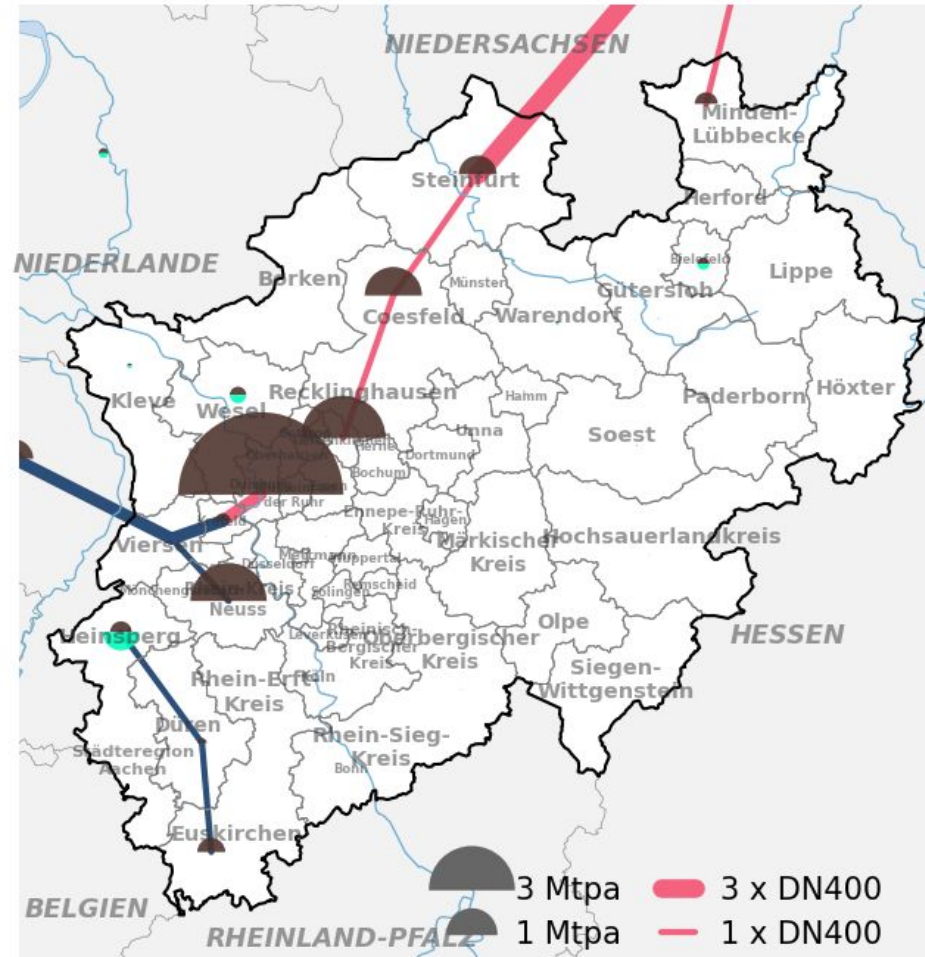
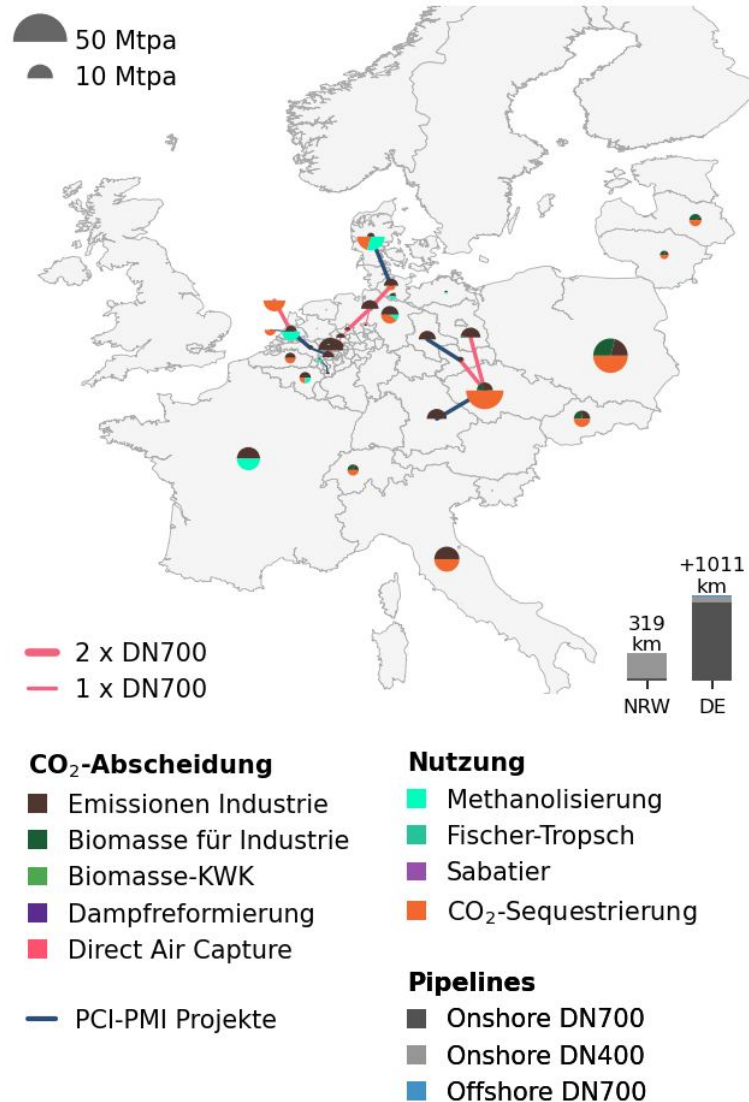
- **Zusätzliche Korridore** in Richtung NL, DE und DK (Nordsee)

- **Abtransport** zur Speicherung in den **Niederlanden** (offshore)

- **Transit** von CO₂-Mengen aus Punktquellen in Österreich, Bayern und Hessen

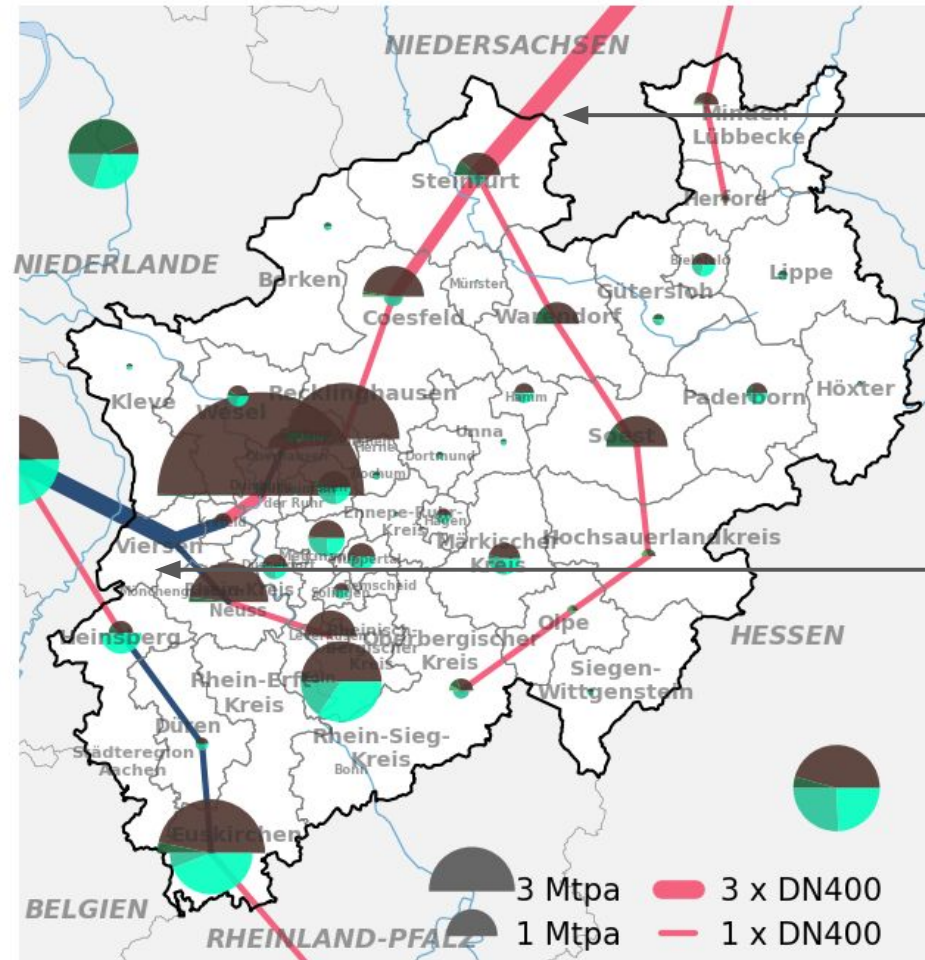
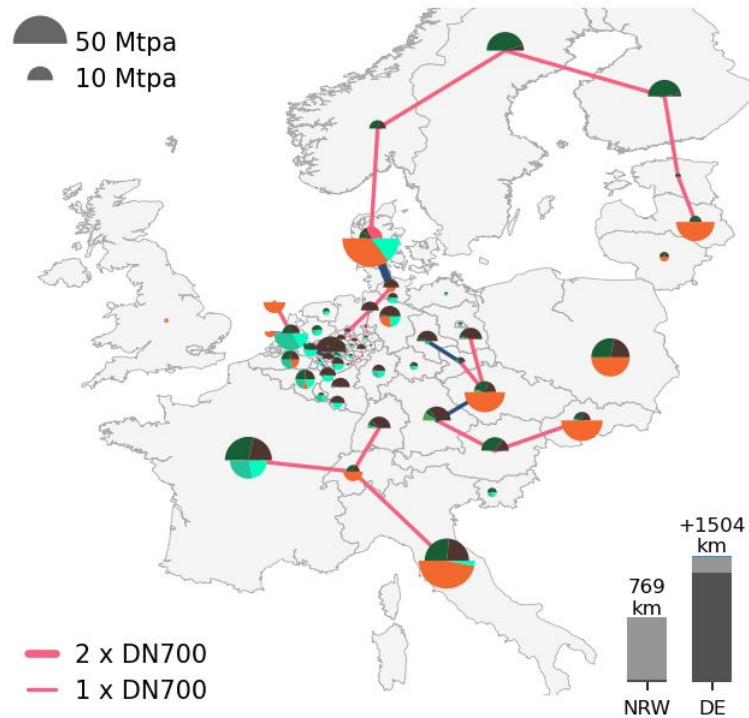
CO₂ Pipeline Kapazitäten und regionale CCS/CCU-Bilanz

2.b. Hard-to-Abate+ & Onshore-Speicherung (2035)



CO₂ Pipeline Kapazitäten und regionale CCS/CCU-Bilanz

2.b. Hard-to-Abate+ & Onshore-Speicherung (2045)

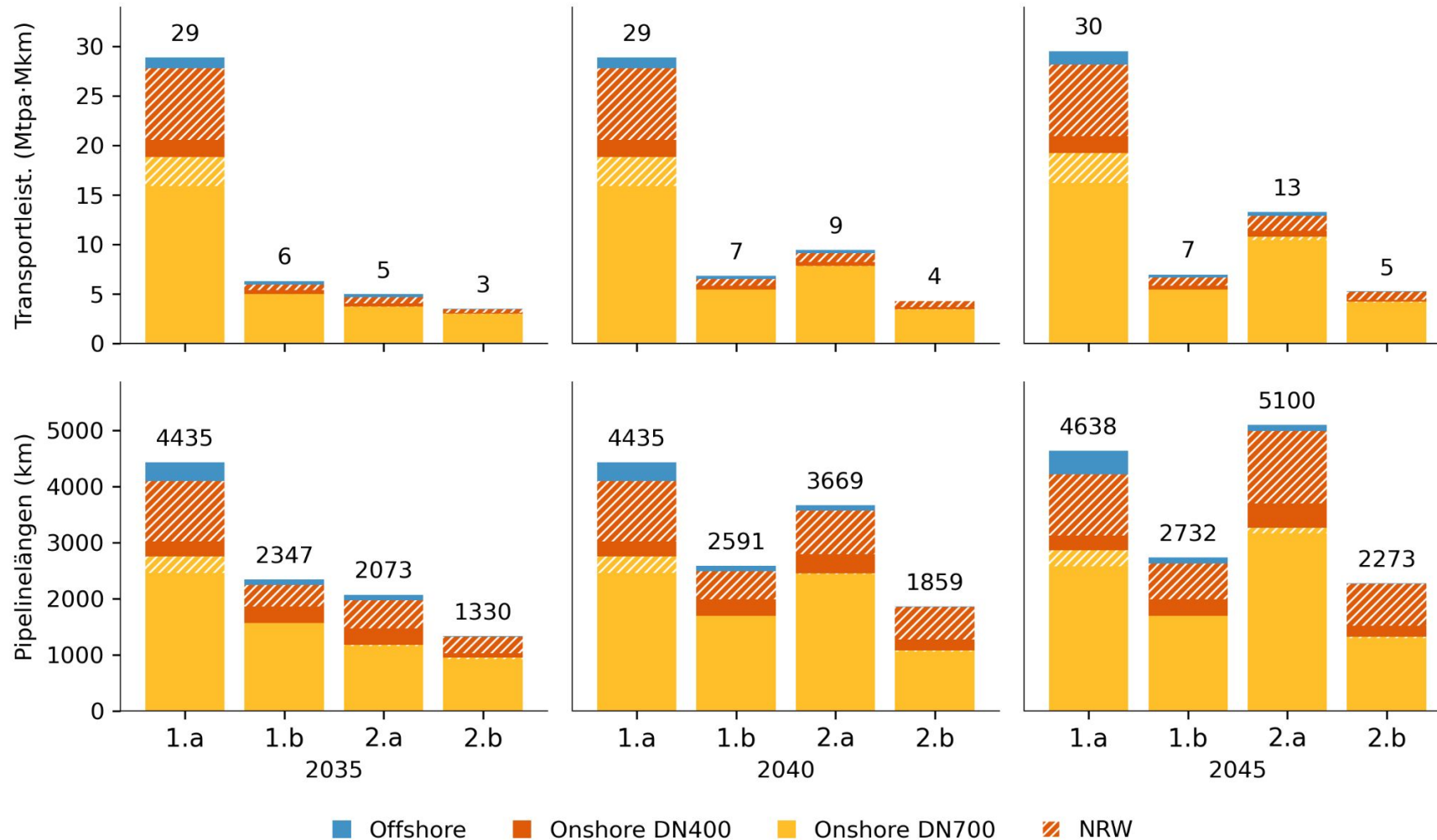


- in HtA+ Szenarien tauchen wiederholt neue Korridore in Richtung Norden (DK) auf

- Korridor im Westen NRWs in Richtung der Niederlande erscheint über alle Szenarien hinweg

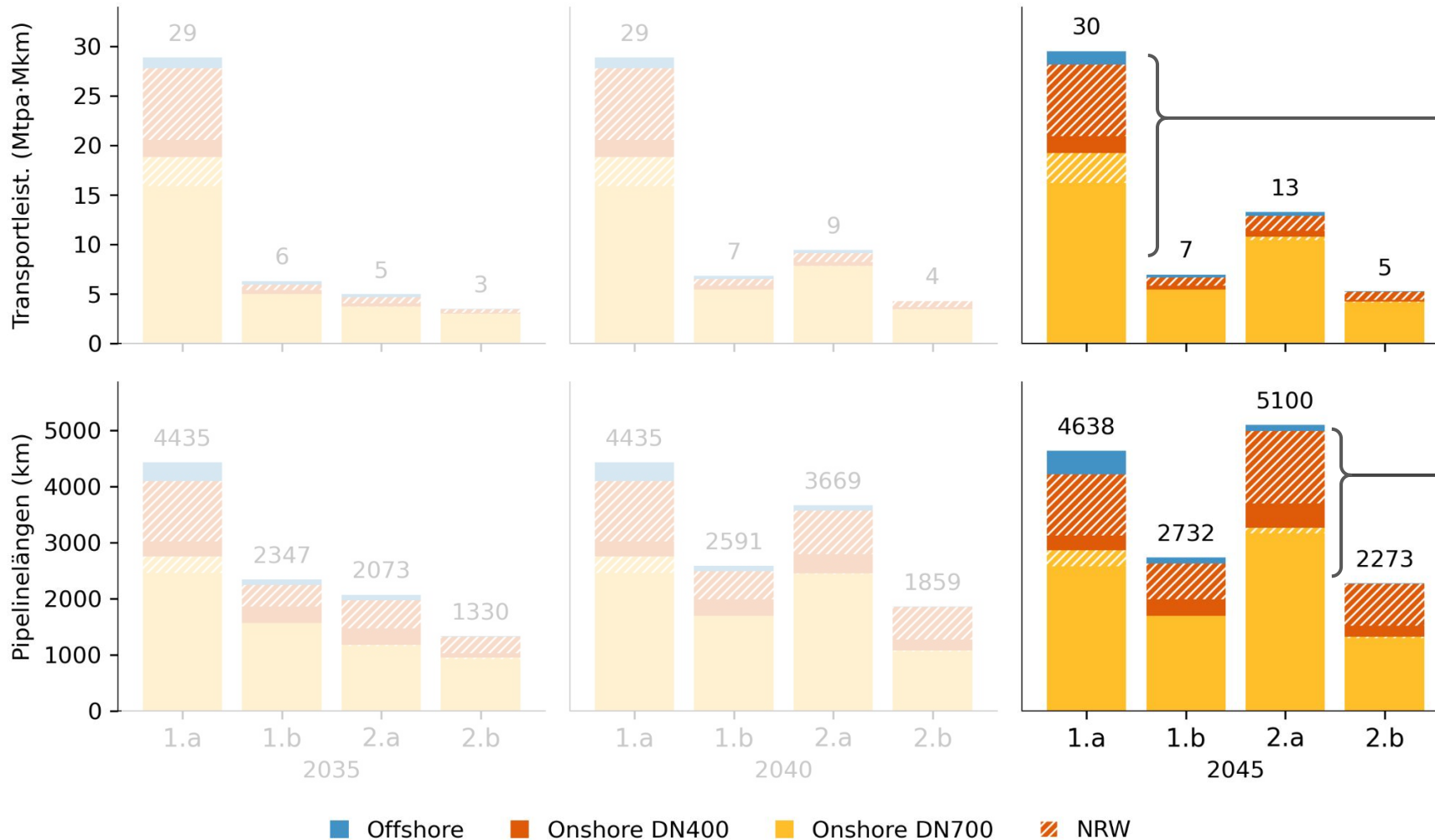
CO₂ Pipelinelängen und Transportleistungen

Zusammenfassung für Deutschland (einschl. Nordrhein-Westfalen)



CO₂ Pipelinelängen und Transportleistungen

Zusammenfassung für Deutschland (einschl. Nordrhein-Westfalen)



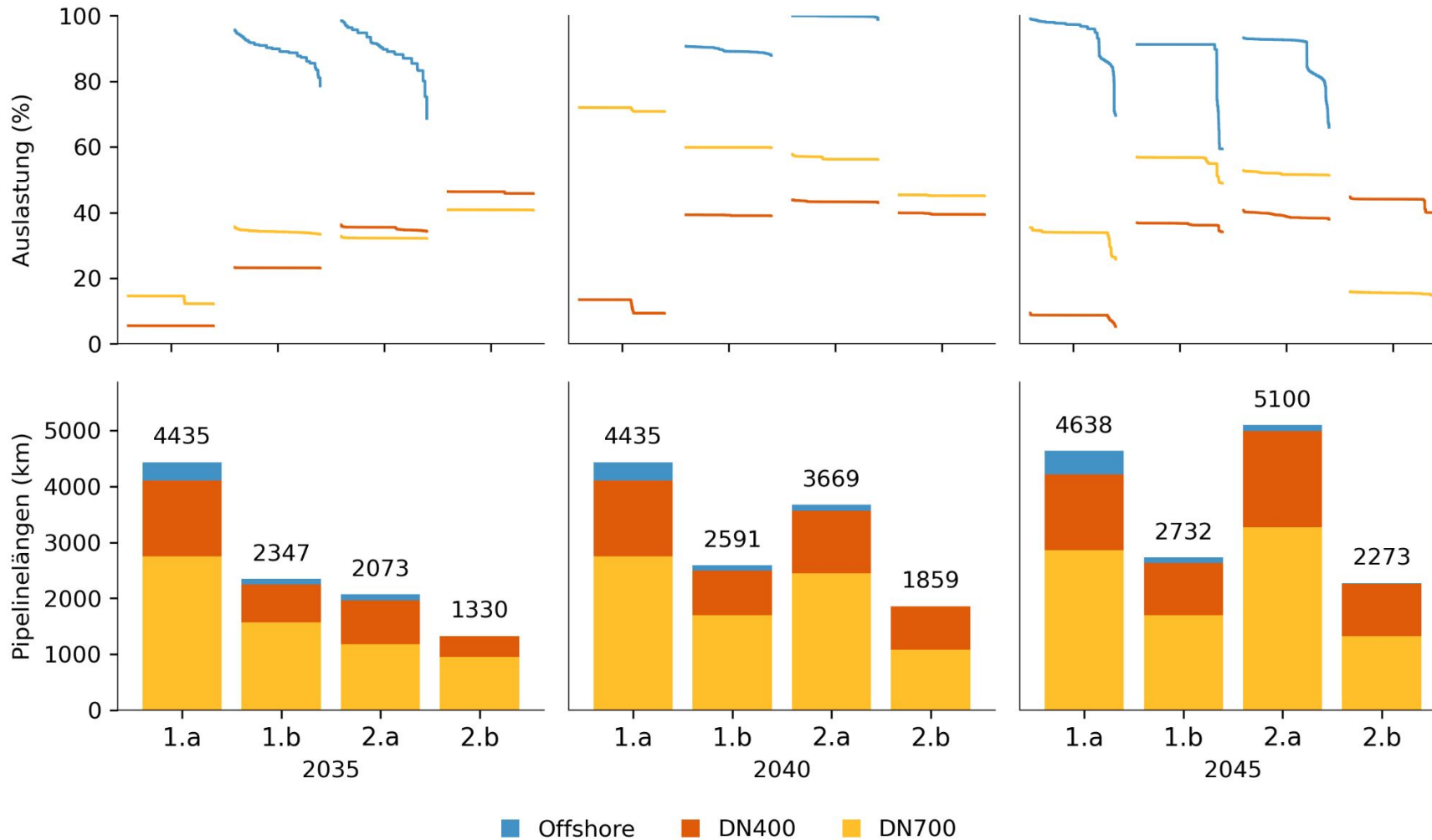
- PCI-PMI Planprojekte scheinen in der Kapazität überdimensioniert
- Szenario 2.b weist ausge dehntes Pipelinenetz in NRW und DE bei geringen Kapazitäten auf

- Mit Onshore-Speicherung sinkt der Pipelineausbau um mehr als die Hälfte (im Vgl. zu 2.a.)

- Anmerkung: Längenangaben im Modell beziehen sich auf den sog. **Großkreisabstand (Haversine-Entfernung)**, multipliziert um einen Längenfaktor von **1,25**, um die ungerade Streckenführung in der Realität zu approximieren

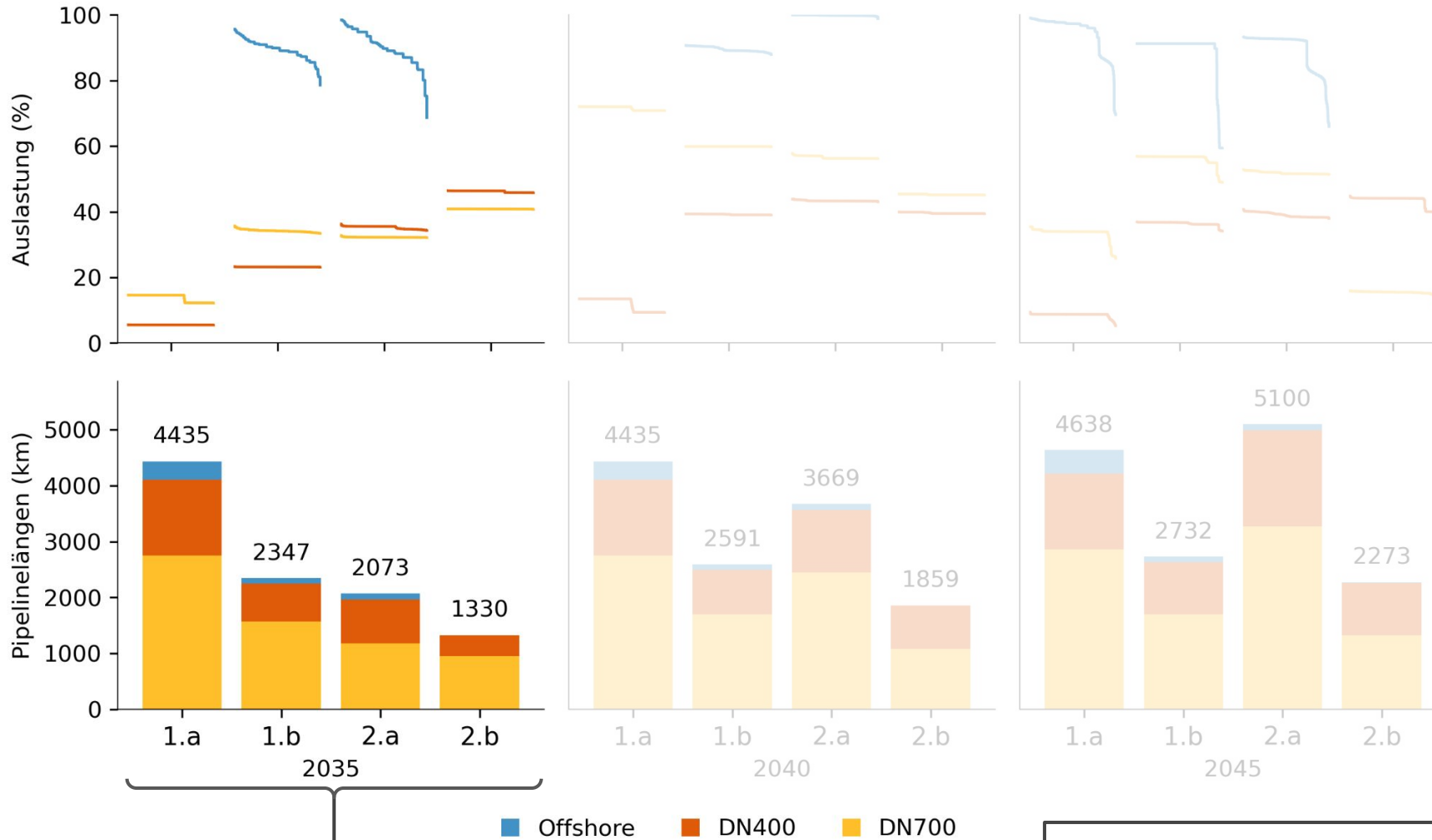
CO₂ Pipelinelängen und jährliche Auslastungen (Dauerlastkurven)

Zusammenfassung für Deutschland (einschl. Nordrhein-Westfalen)



CO₂ Pipelinelängen und jährliche Auslastungen (Dauerlastkurven)

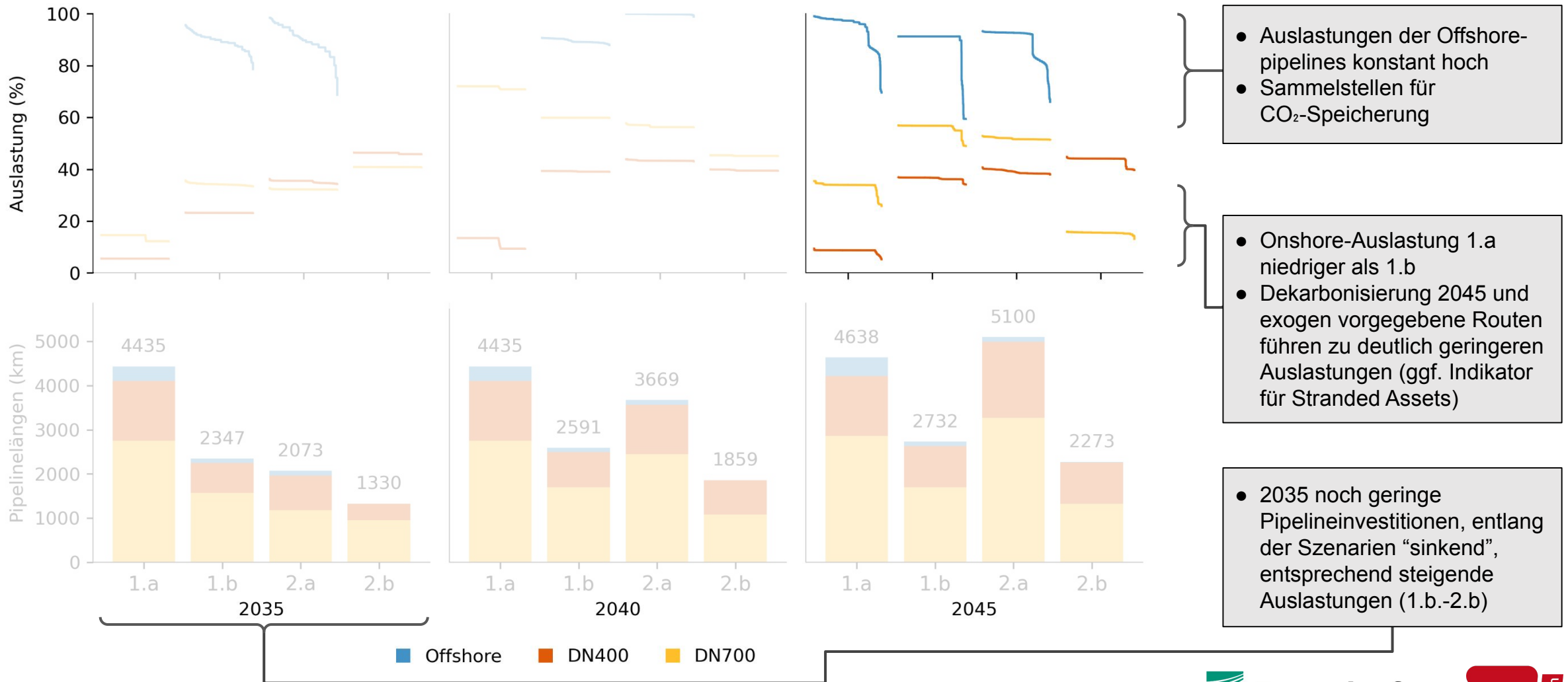
Zusammenfassung für Deutschland (einschl. Nordrhein-Westfalen)



- 2035 noch geringe Pipelineinvestitionen, entlang der Szenarien "sinkend", entsprechend steigende Auslastungen (1.b.-2.b)

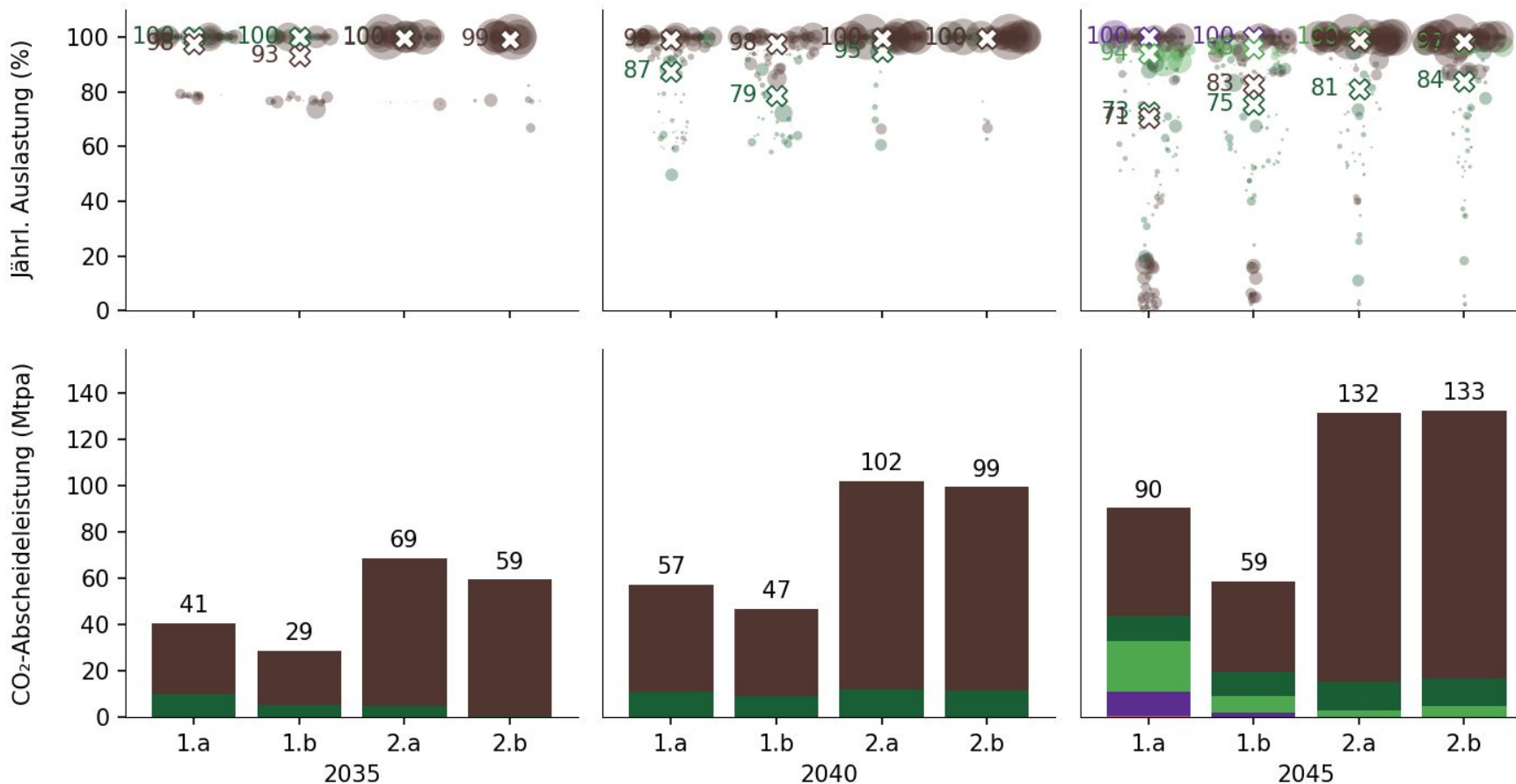
CO₂ Pipelinelängen und jährliche Auslastungen (Dauerlastkurven)

Zusammenfassung für Deutschland (einschl. Nordrhein-Westfalen)



Installierte Carbon-Capture Kapazitäten und Nutzung

Vergleich über Szenarien und Technologien (Deutschland)

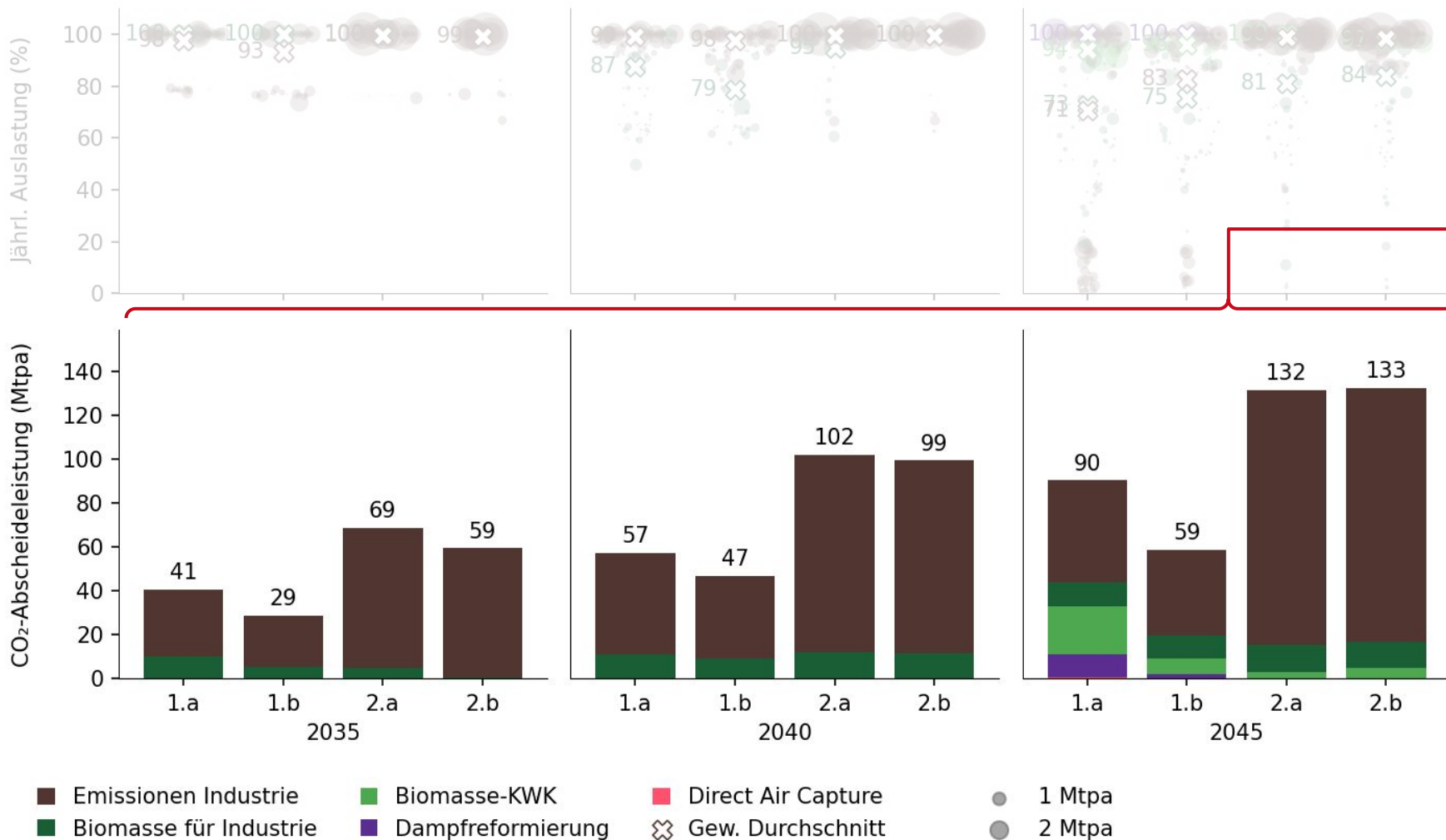


- Nahezu volle Auslastungen der Abscheideanlagen für Prozessemissionen

Emissionen Industrie
 Biomasse-KWK
 Direct Air Capture
 1 Mtpa
 Biomasse für Industrie
 Dampfreformierung
 Gew. Durchschnitt
 2 Mtpa

Installierte Carbon-Capture Kapazitäten und Nutzung

Vergleich über Szenarien und Technologien (Deutschland)

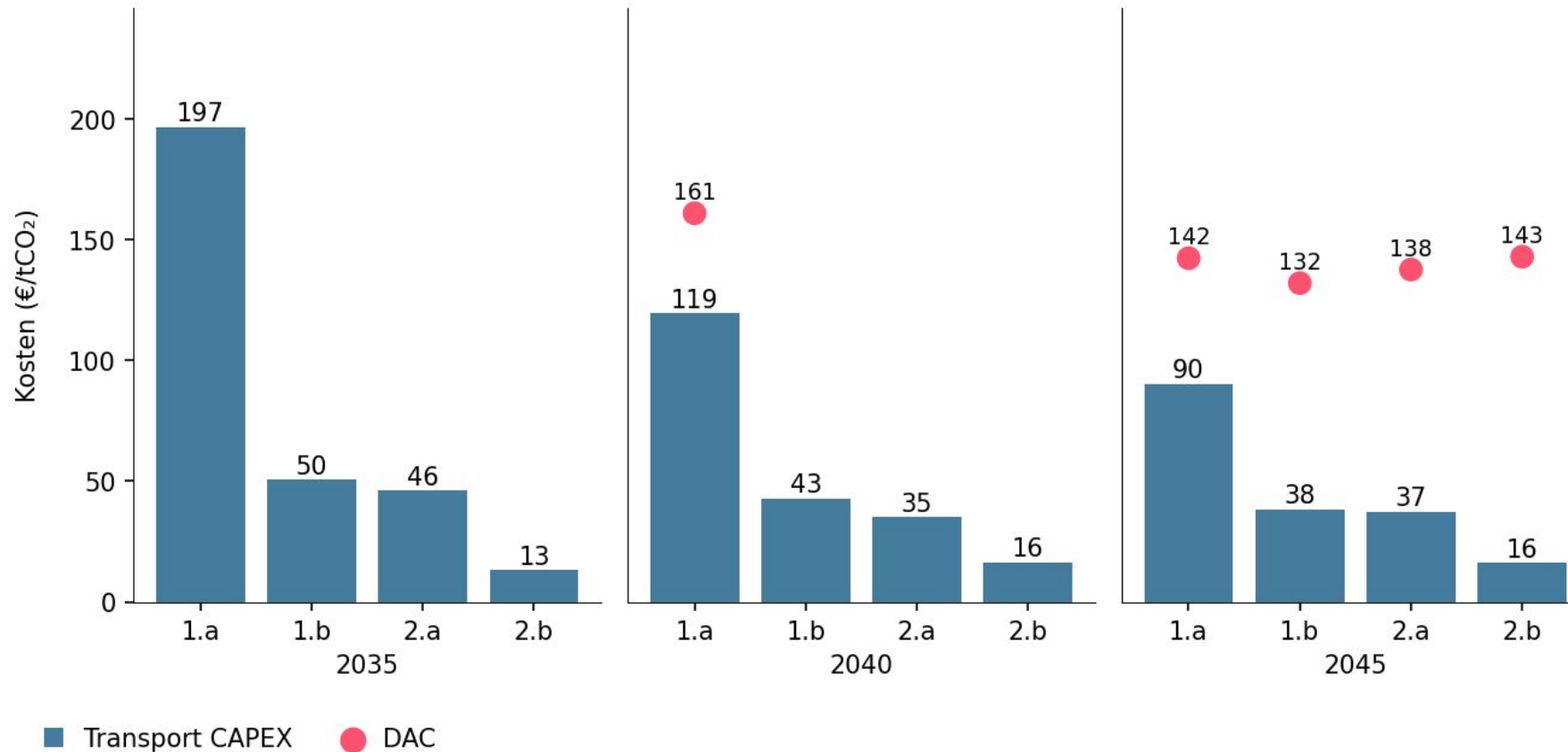


- Abscheideleistung und -nutzung steigt bis 2045 an
- u.a. wegen höherer installierten EE-Erzeugungsleistungen, Elektrolyseuren und damit verb. Wasserstoffmengen, die mit dem verfügbaren Kohlenstoff zur Synthesisierung von Kraftstoffen für den Bedarf der Dekarbonisierung des Luft- und Schaffungsssektors

- DE (und NRW) kommen in diesen Ergebnissen bis 2045 nahezu ohne DAC aus

CO₂ Transport- und Direct Air Capture Kosten

Levelised cost (€/tCO₂ abgeschlossen)



Anmerkung:

- Transportkosten im Modell tendenziell unterschätzt
- Transportkosten auf die abgeschiedene CO₂-Mengen umgelagert
- Abscheidekosten DAC enthalten Energiekosten für Strom und Wärme und CAPEX
- exkl. Inflationsanpassungen
- Kostenangaben annuisiert und diskontiert auf 2020
- **Anmerkung:** DAC-Kosten pro Tonne abgeschiedener CO₂-Emissionen erscheinen niedrig. Keine Kostenrechnung für 2035, da kein Ausbau im Modell

Zusammenfassung zum Lesen

Schlussfolgerungen aus den aktuellen Ergebnissen

CO₂ Pipelinenetz & PCI-PMI Bewertung

- Die PCI-PMI Planprojekte sind kapazitiv **überdimensioniert**, sowohl in Leitungskapazität als auch leicht in Länge.
- Für den **überregionalen Transport** genügen laut Modell **DN700-Äquivalente (~28 Mtpa)** bei Auslastungen von über 35% in DE.
- Bestimmte Strecken erscheinen über alle Szenarien hinweg **“robust”**, z.B. der **Korridor Richtung Westen (NL/BE)** sowie **Transitkorridore** im Südosten NRW.
- An **Offshore-Sammelstellen** sind **größere Pipelines** oder mehrere Parallelstränge erforderlich.

Speicherung, Abscheidung und Systemkosten

- Mit **Onshore-Speicherung** in Deutschland und Nachbarländern **sinkt der Pipeline-Investitionsbedarf** um mehr als die Hälfte (Szenario 2.b vs. 2.a).
- Die Gesamtsystemkosten reduzieren sich dabei um rund 8 Mrd. €/a, einhergehend mit einer europaweit in der Gesamtlänge deutlich reduzierteren Pipeline-Topologie
- Bei sinnvoller Dimensionierung sind **Auslastungen der Abscheide-einheiten von über 70% möglich** (15-50 Mtpa in NRW, 60-130 Mtpa in DE, je nach Szenario).

Nordrhein-Westfalen: CCS-Hochlauf & Infrastruktur

- Für NRW empfehlen sich als **Erstinvestition 1-2 DN400-äquivalente Feeder-Pipelines** (ca. 8,9 Mtpa pro Strang).
- Der Anschluss sollte **stückweise** und mit den **größten Emittenten** beginnen, insbesondere der **Stahlindustrie**, gefolgt von Raffinerien und Zementwerken
- CCU und DAC allein sind keine ausreichende Lösung für das Gesamtsystem: **CCS & Transport bleiben zentrale Bausteine.**

Dekarbonisierung bis 2045/2050 & europäischer Kontext

- DAC vor allem in europäischen Nachbarländern, Deutschland und NRW kommen bis 2045 in diesen Ergebnissen **weitgehend ohne DAC** aus.
- **Endogene Pipelinetopologien** über das PCI-PMI-Netz hinaus **reduzieren** den europäischen **DAC-Bedarf** europaweit erheblich.
- Der Dekarbonisierungspfad bis 2045/2050 erfordert eine Kombination aus CO₂-Transport, Speicherung und lokaler Nutzung, u.a. zur Deckung des Brennstoffbedarfs in anderen Sektoren (z.B. Luft- und Schifffahrt).

Link zum Open-Source Modell:
<https://github.com/resilient-project/nrw-study>



Vielen Dank.

Diskussion PyPSA-Eur Modellierung | 30.06.2026 | Wissenschaftspark Gelsenkirchen

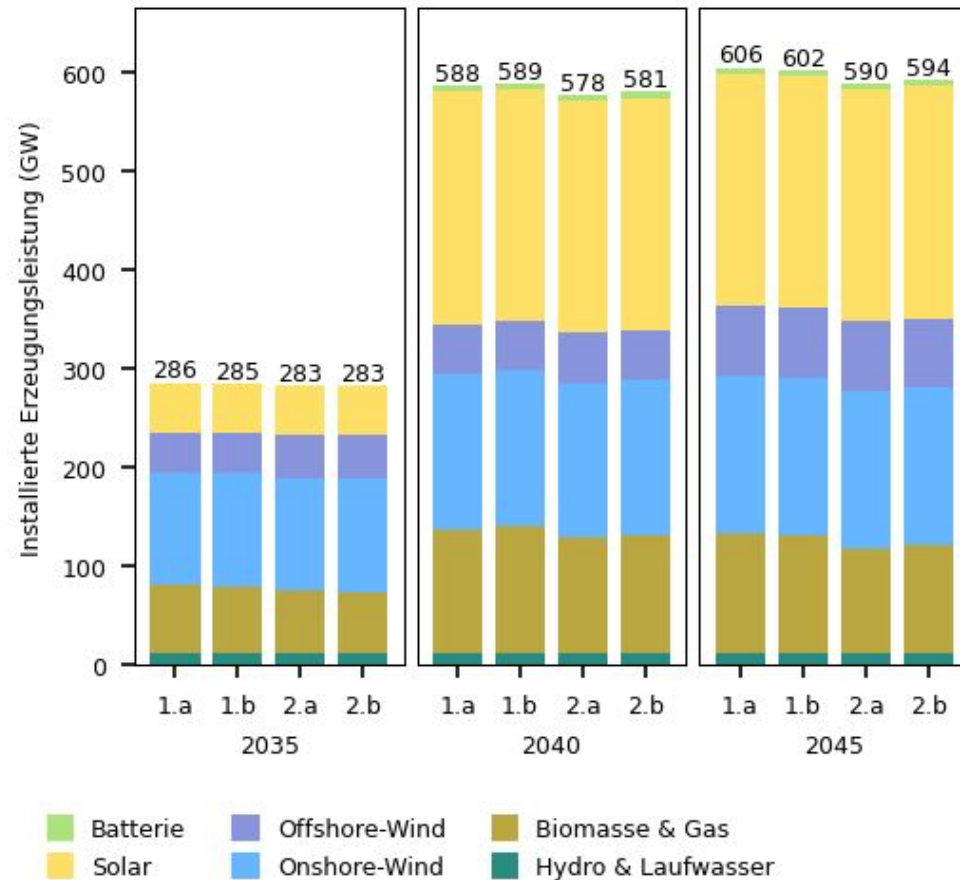
Anhang

Diskussion PyPSA-Eur Modellierung | 30.06.2026 | Wissenschaftspark Gelsenkirchen

Modellparametrierung

EE-Ausbauziele, Dekarbonisationspfade und Sektorenannahmen

Erzeugungsleistungen in Deutschland (Ergebnis)



Deutschland

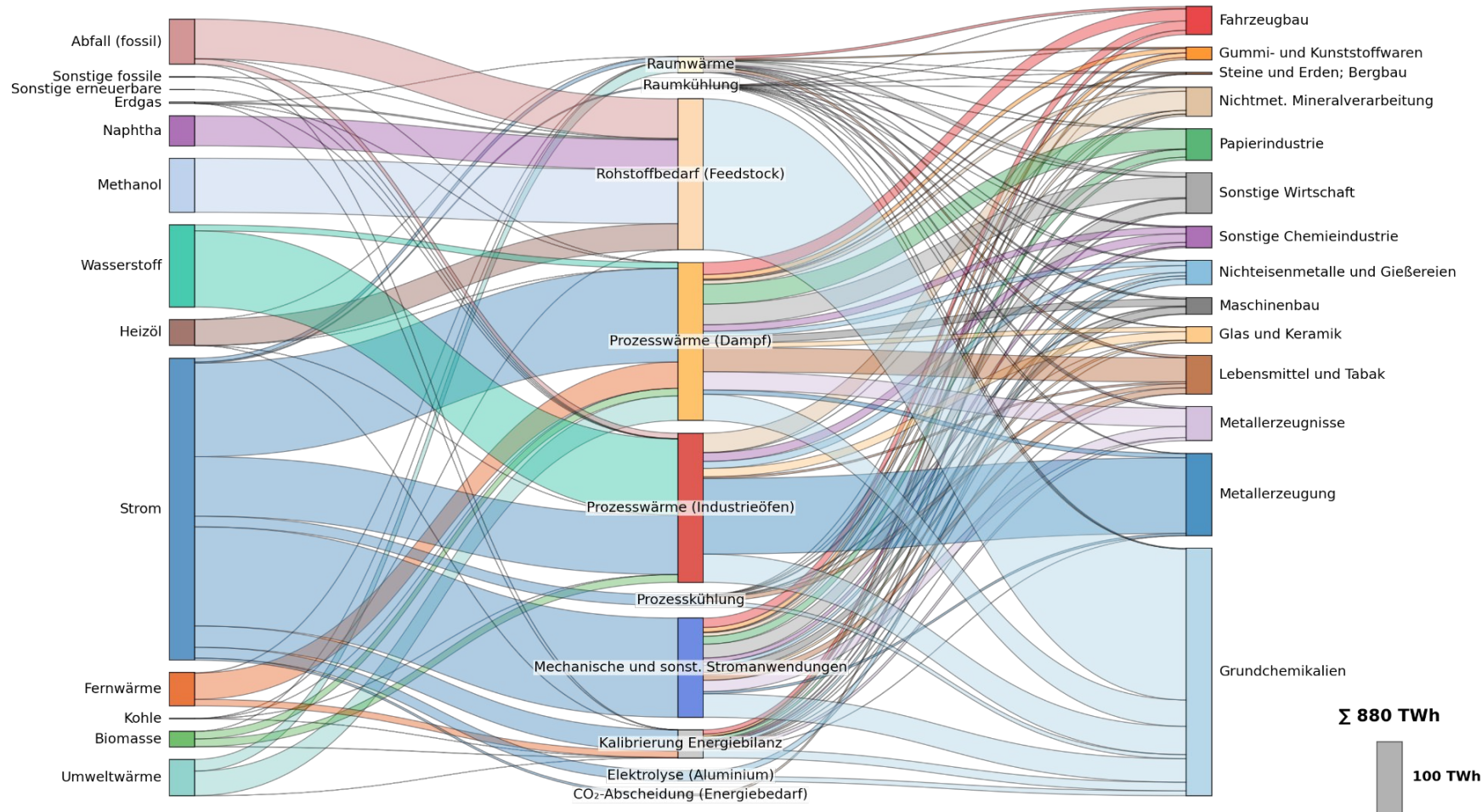
- Erneuerbare Energie Ausbauziele und Interpolation (EEG 2023 und WindSeeG)
- CO₂-neutrales Energiesystem bis 2045

Europa / Gesamtsystem

- Netto-Null Dekarbonisation bis 2050:
-75% (2035), -95% (2045)
- 85% Elektrofizierung des Landtransports bis 2045 (2035 rund 45%)
- 80% Methanolisierung der Schifffahrt bis 2045

Abbildung der Industrie im PyPSA-Eur Modell

Hard-to-Abate Szenarien (1.a. & 1.b.): Planungsjahr 2045

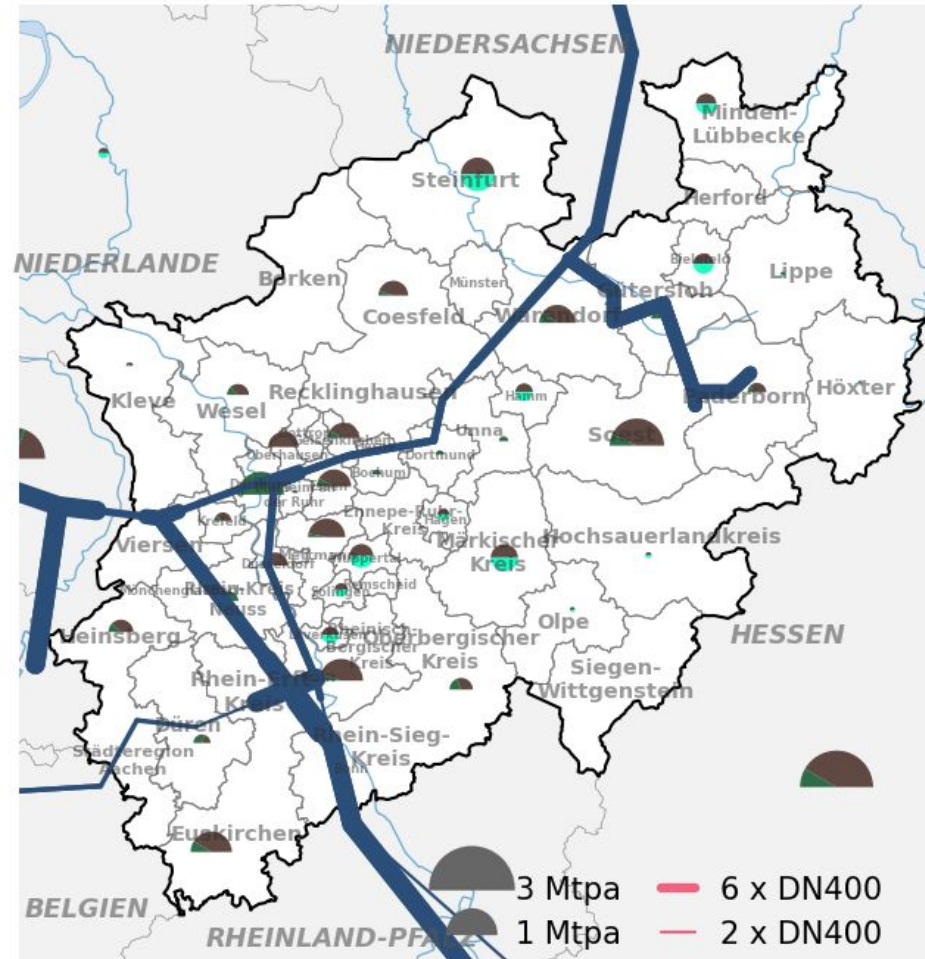
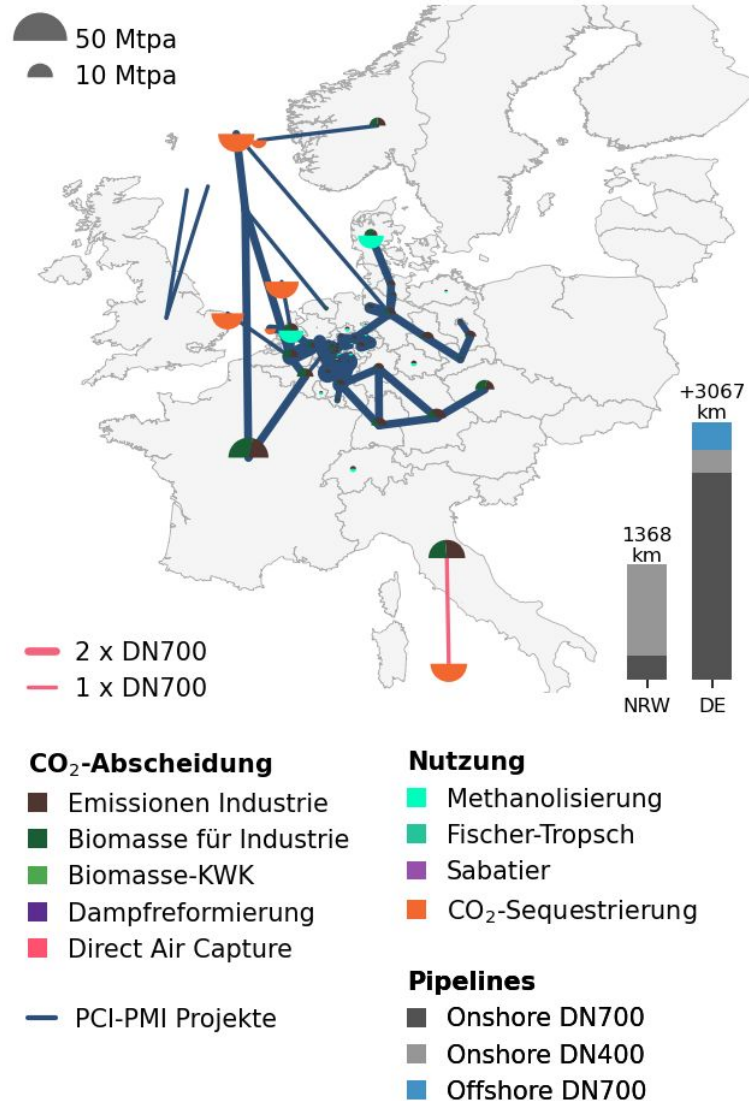


Das Diagramm zeigt die industrielle Energienachfrage in DE, aufgeschlüsselt nach **Energieträger** (links), **Verwendungszweck** (Mitte) und **Industriesektor** (rechts). Die Nachfrage entstammt den exogenen **FORECAST**-Szenarien und fließt räumlich verteilt als Last in **PyPSA-Eur** ein.

Geringerer Gesamtenergieverbrauch und höhere **Wasserstoffnutzung** als im HtA+ Szenario

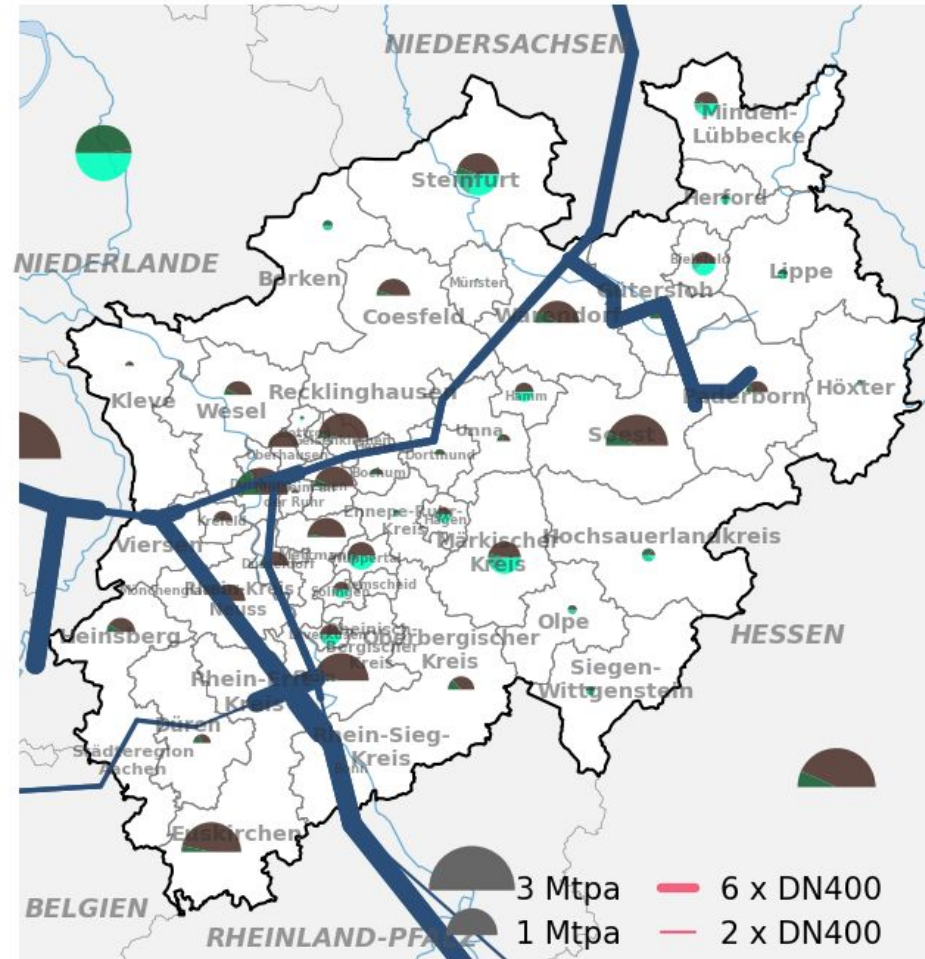
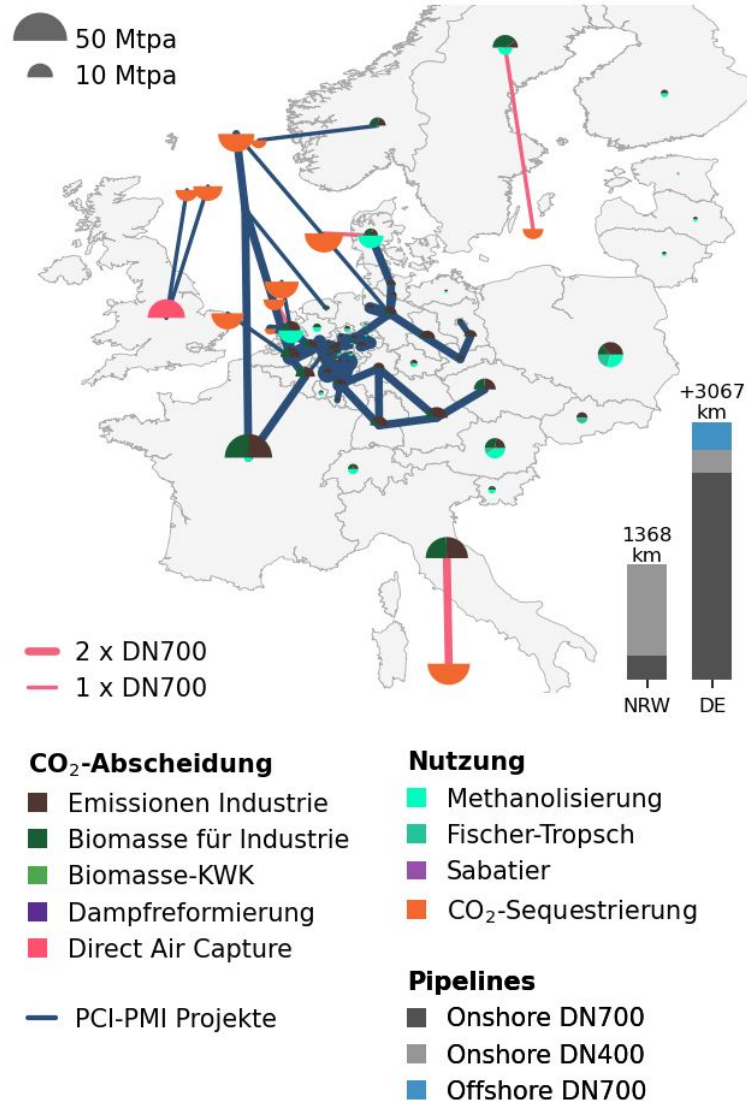
CO₂ Pipeline Kapazitäten und regionale CCS/CCU-Bilanz

1.a. Hard-to-Abate & PCI-PMI (2035)



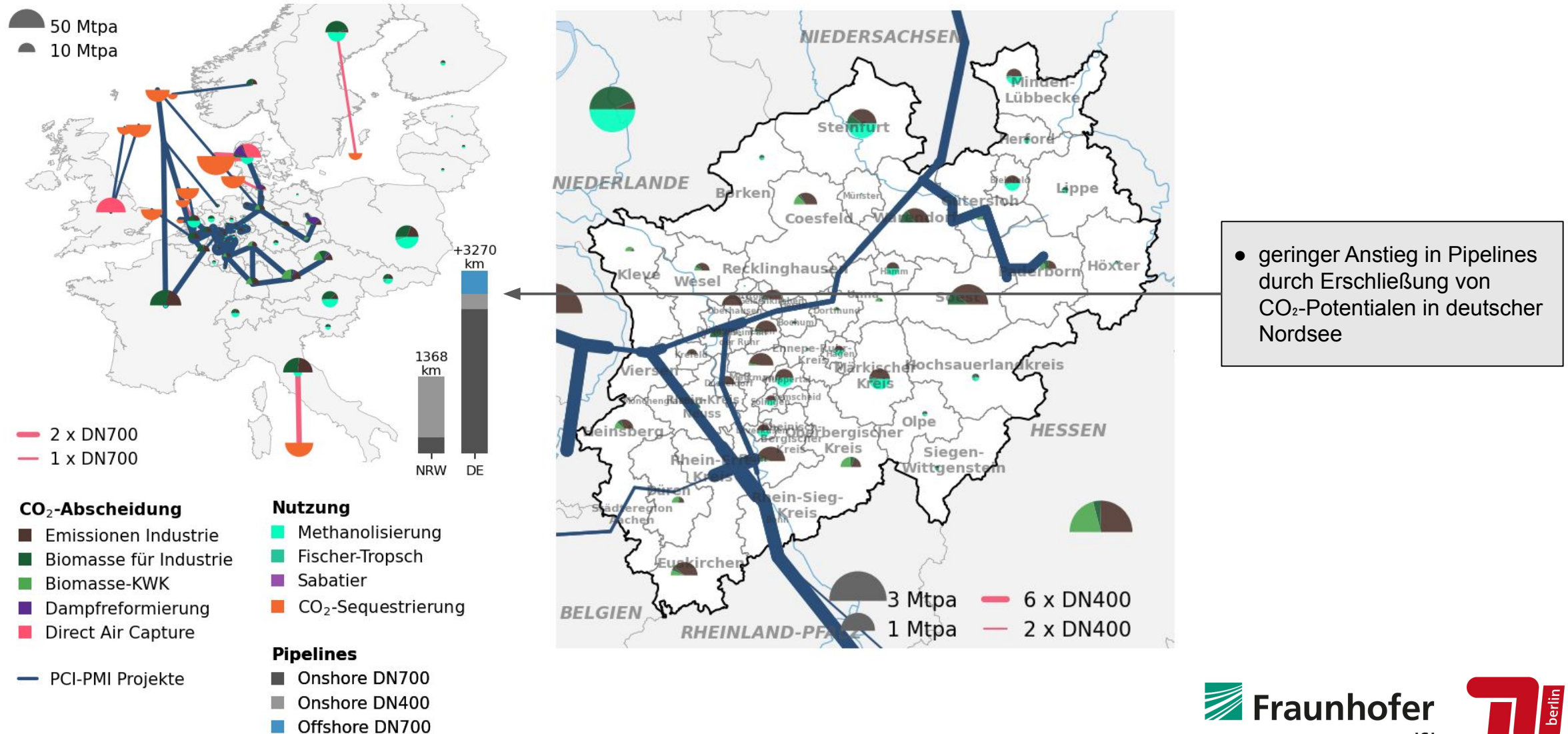
CO₂ Pipeline Kapazitäten und regionale CCS/CCU-Bilanz

1.a. Hard-to-Abate & PCI-PMI (2040)



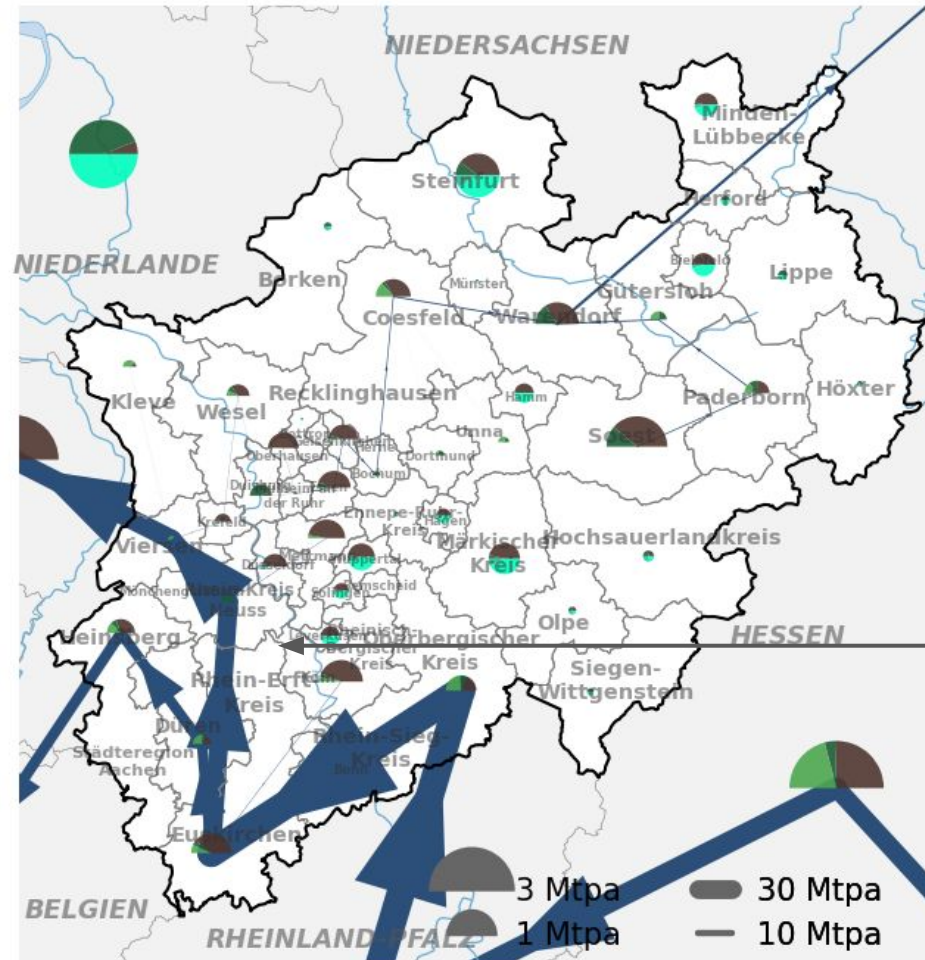
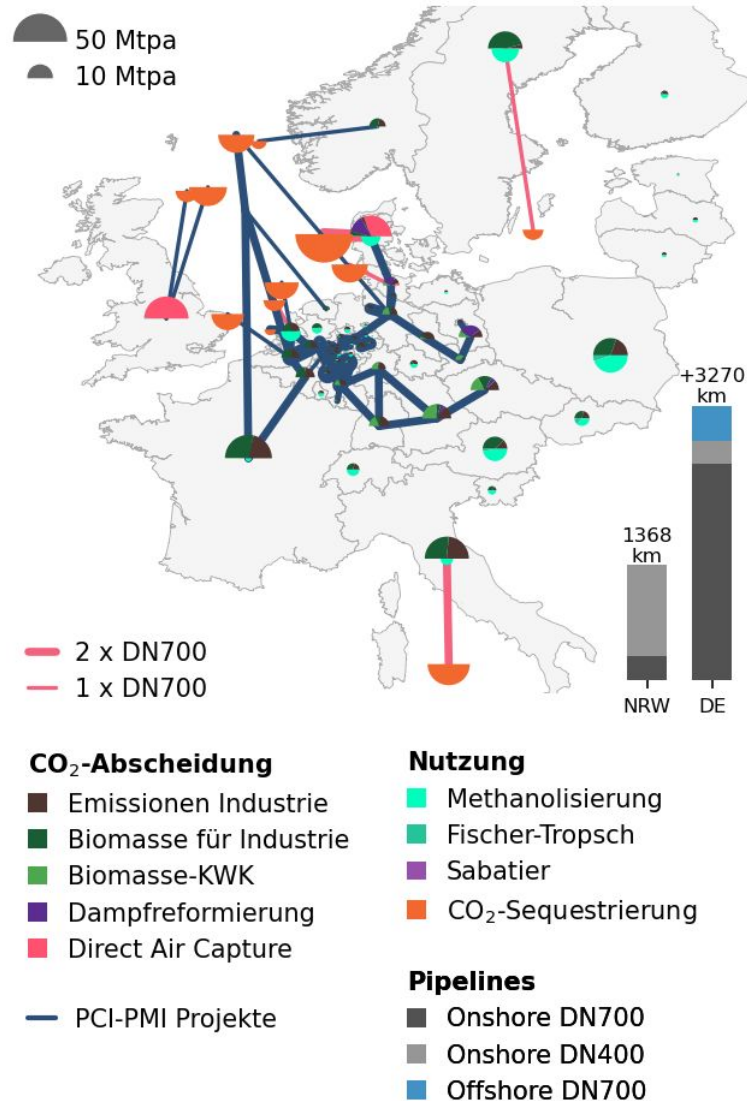
CO₂ Pipeline Kapazitäten und regionale CCS/CCU-Bilanz

1.a. Hard-to-Abate & PCI-PMI (2045)



CO₂ Pipeline Kapazitäten und regionale CCS/CCU-Bilanz

1.a. Hard-to-Abate & PCI-PMI (2045): Transportflüsse NRW

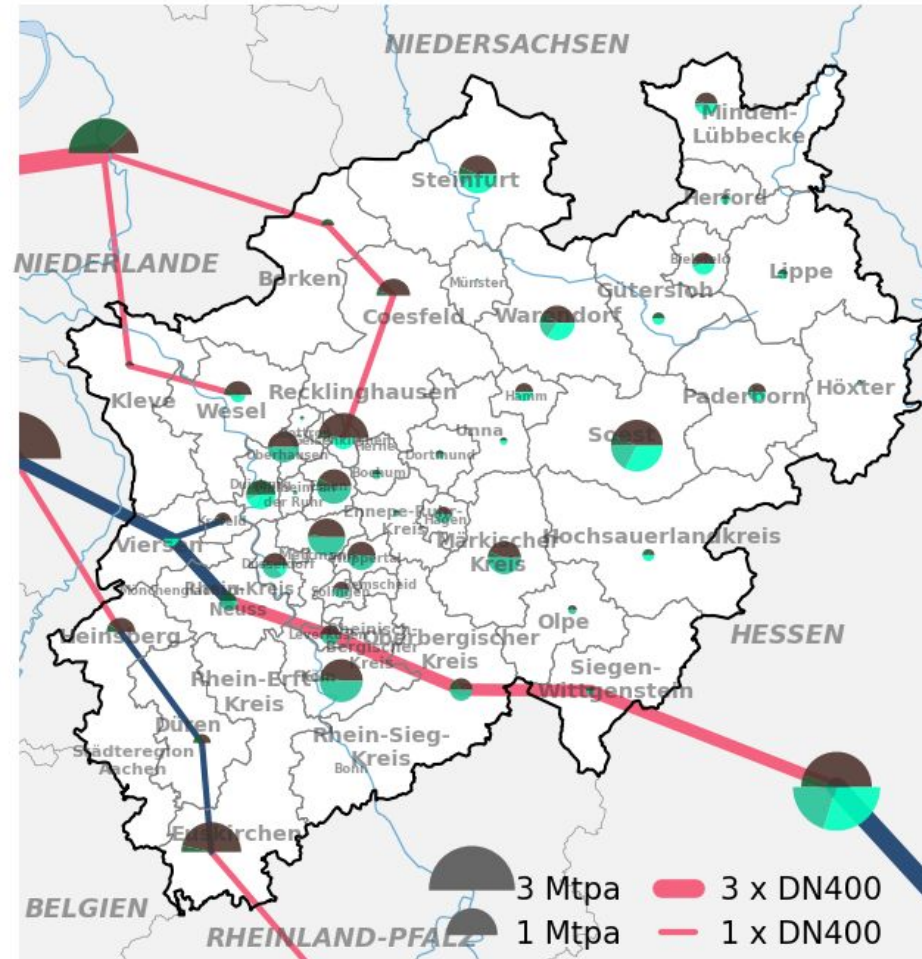
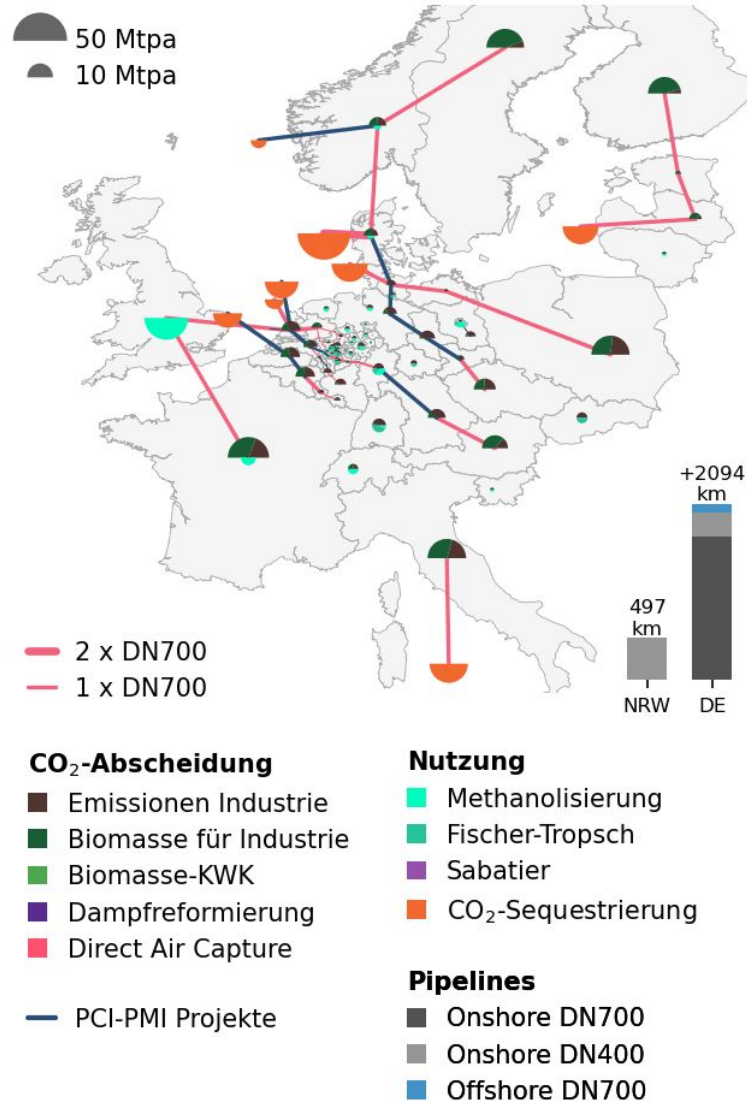


- Anmerkung: Flüsse hier in vereinfachter Punkt-zu-Punkt Darstellung

- PCI-PMI Topologie erfüllt in NRW primär Transitfunktion in Richtung der Niederlande

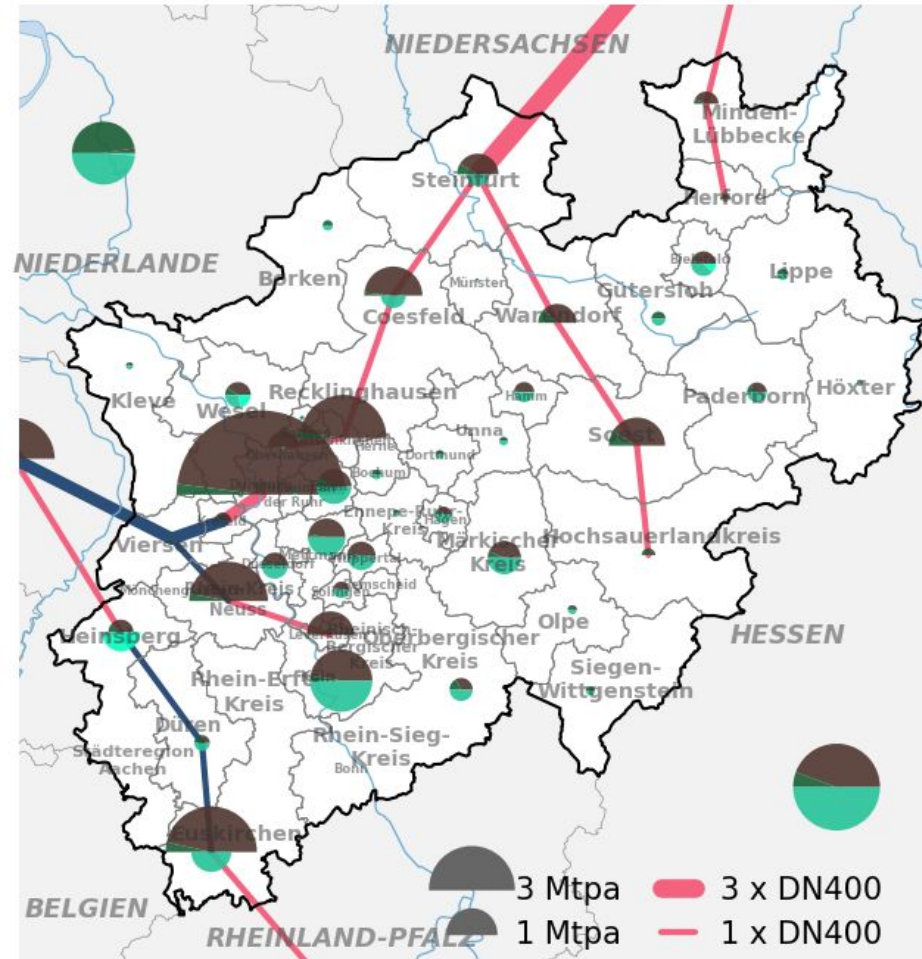
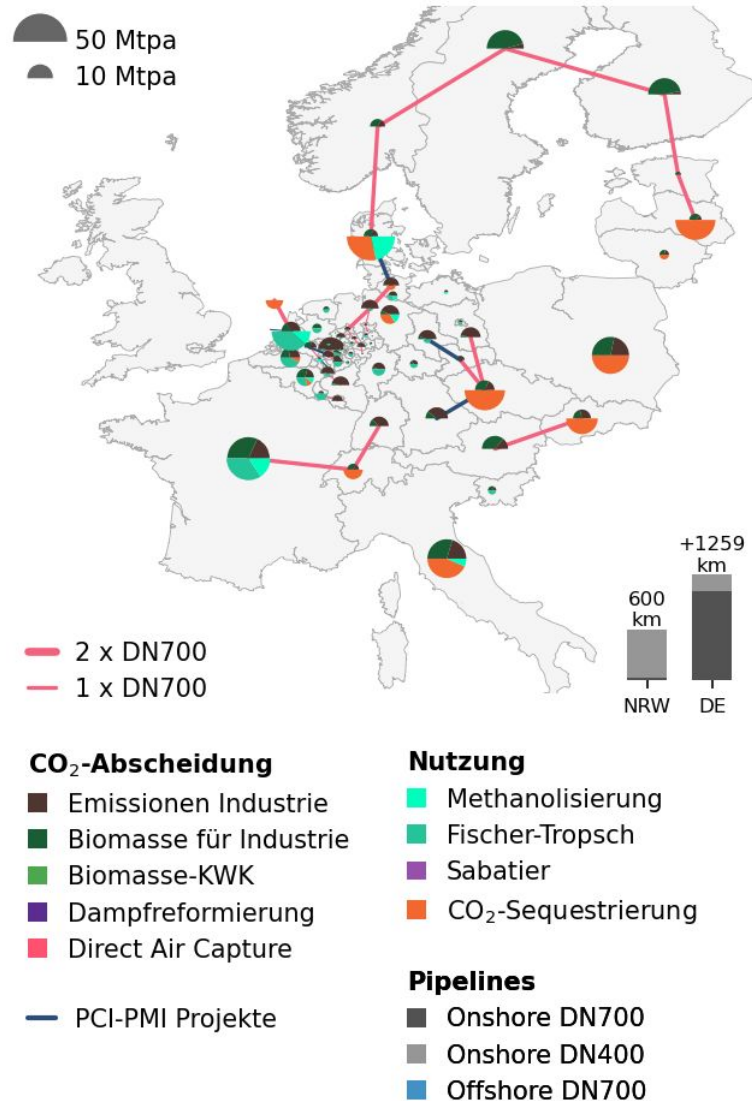
CO₂ Pipeline Kapazitäten und regionale CCS/CCU-Bilanz

1.b. Hard-to-Abate & endogener Pipelineausbau (2040)



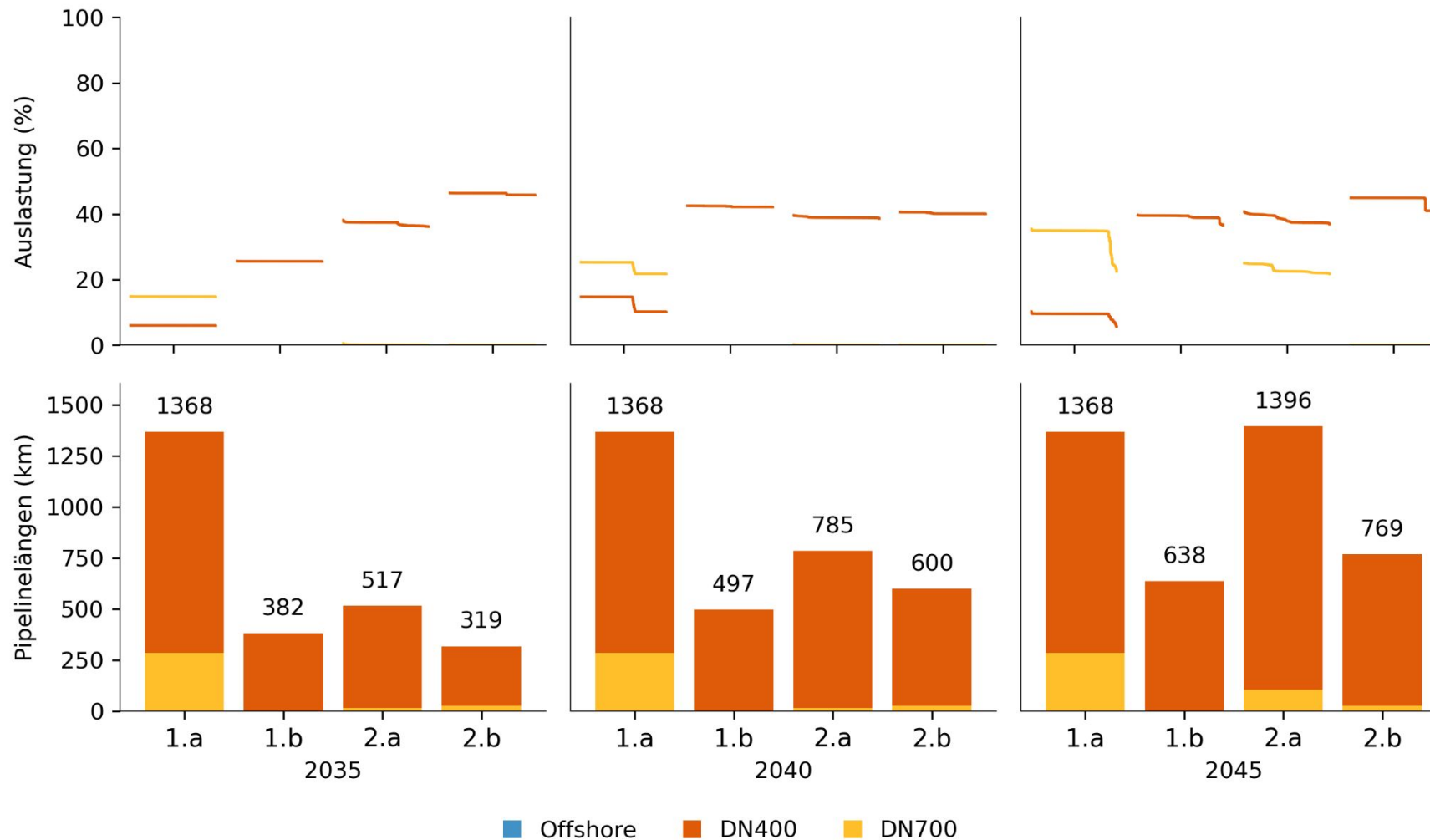
CO₂ Pipeline Kapazitäten und regionale CCS/CCU-Bilanz

2.b. Hard-to-Abate+ & Onshore-Speicherung (2040)



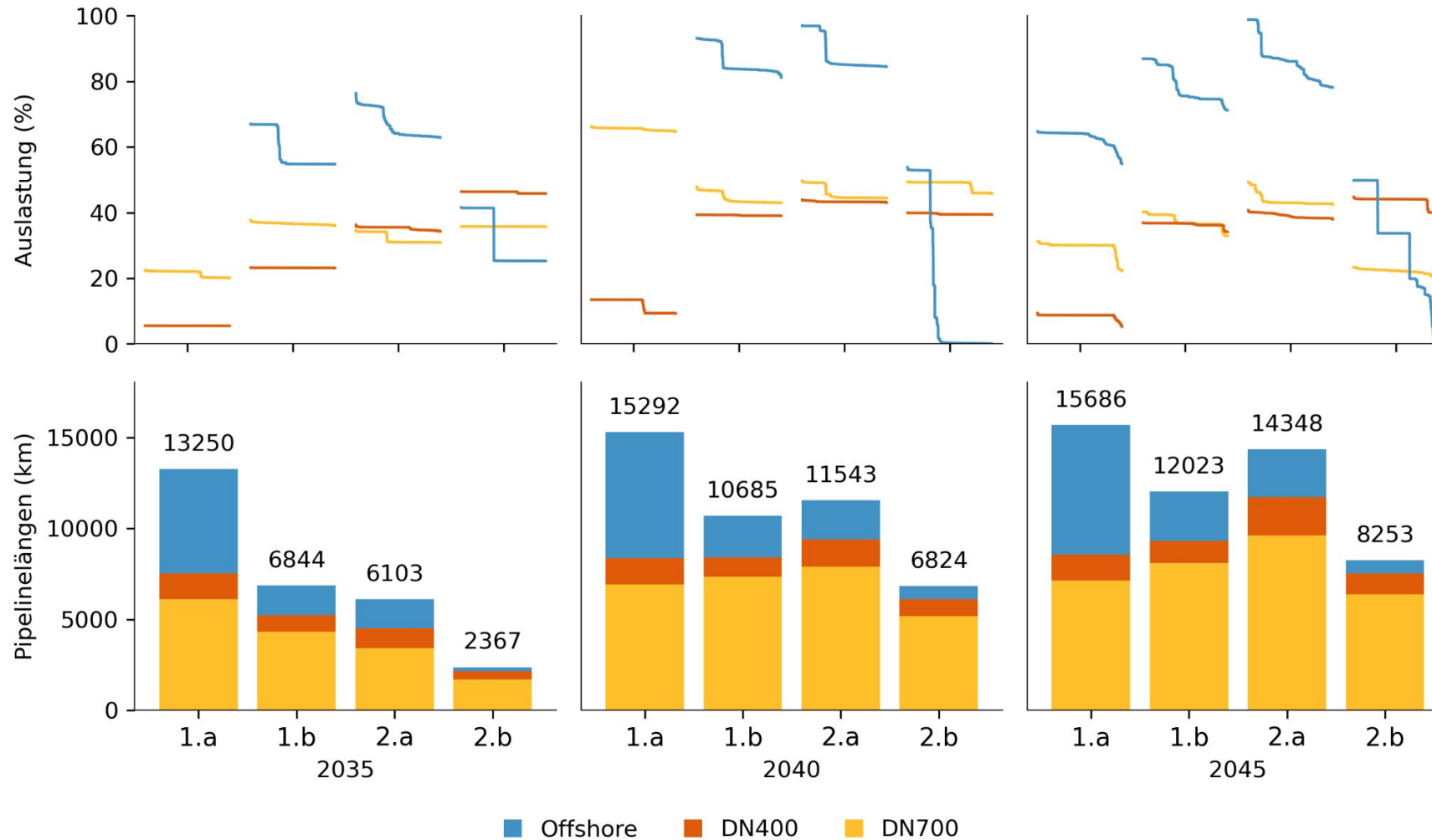
CO₂ Pipelinelängen und jährliche Auslastungen (Dauerlastkurven)

Zusammenfassung für Nordrhein-Westfalen



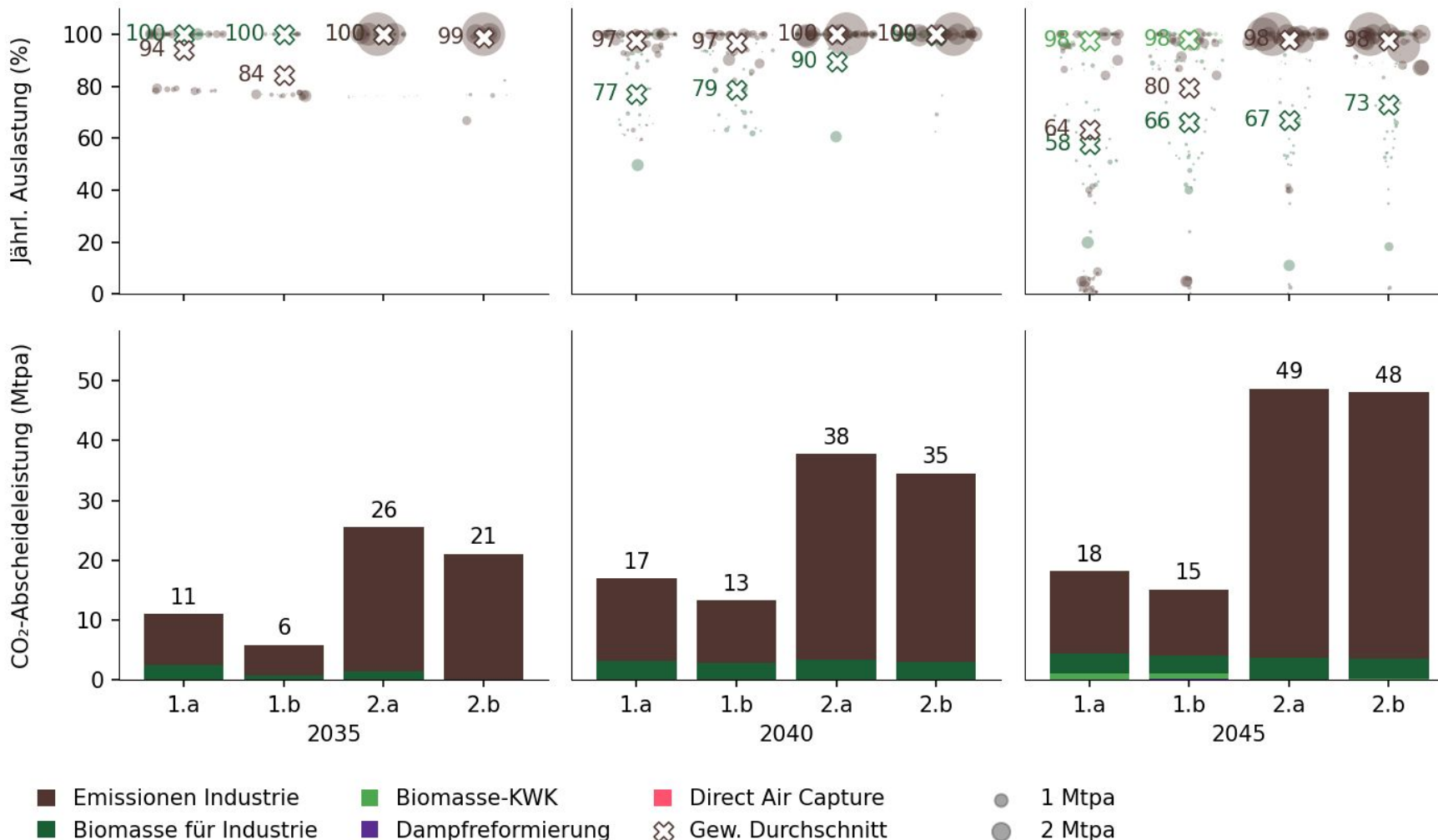
CO₂ Pipelinelängen und jährliche Auslastungen (Dauerlastkurven)

Zusammenfassung für Europa



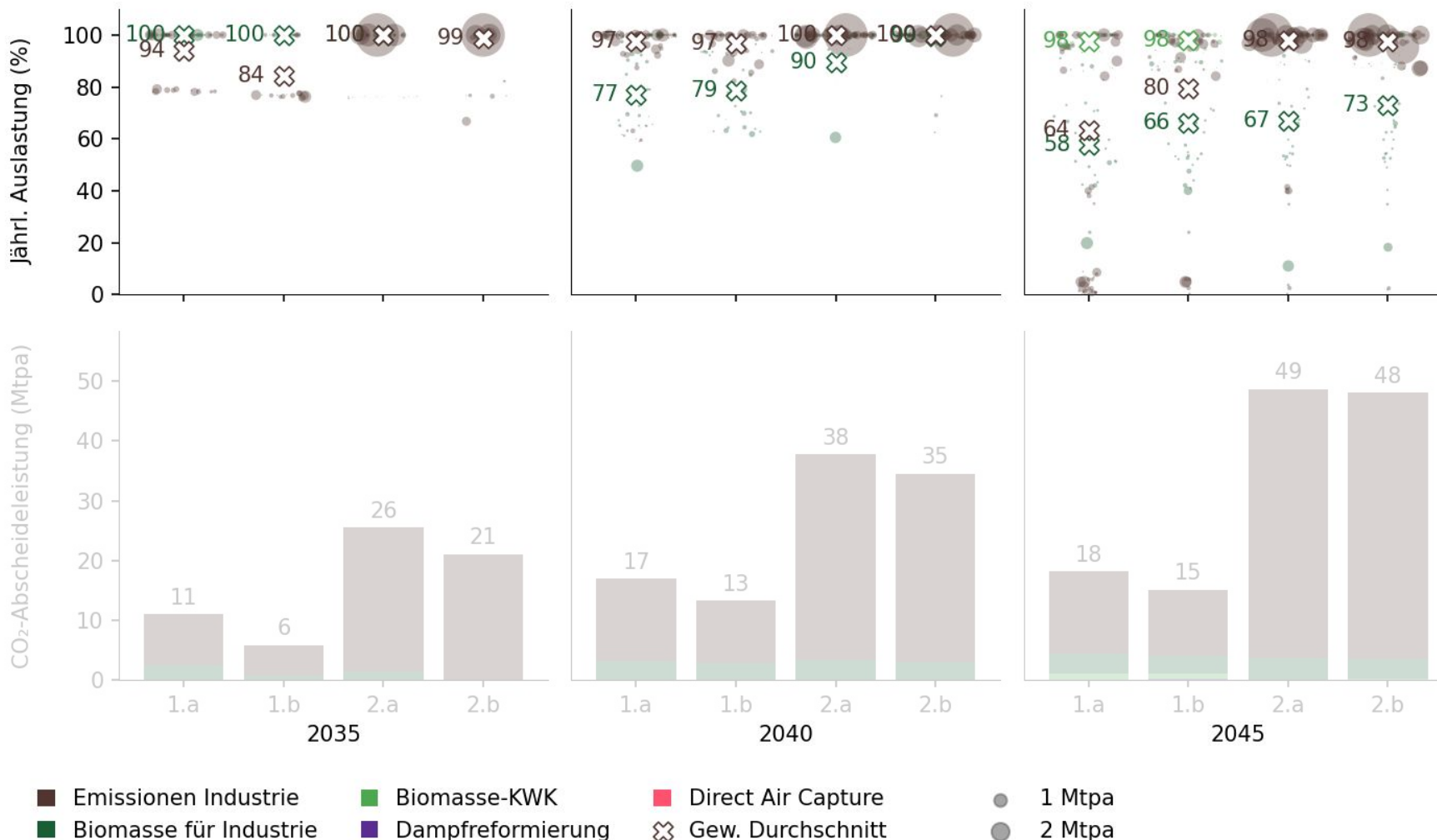
Installierte Carbon-Capture Kapazitäten und Nutzung

Vergleich über Szenarien und Technologien (Nordrhein-Westfalen)



Installierte Carbon-Capture Kapazitäten und Nutzung

Vergleich über Szenarien und Technologien (Nordrhein-Westfalen)



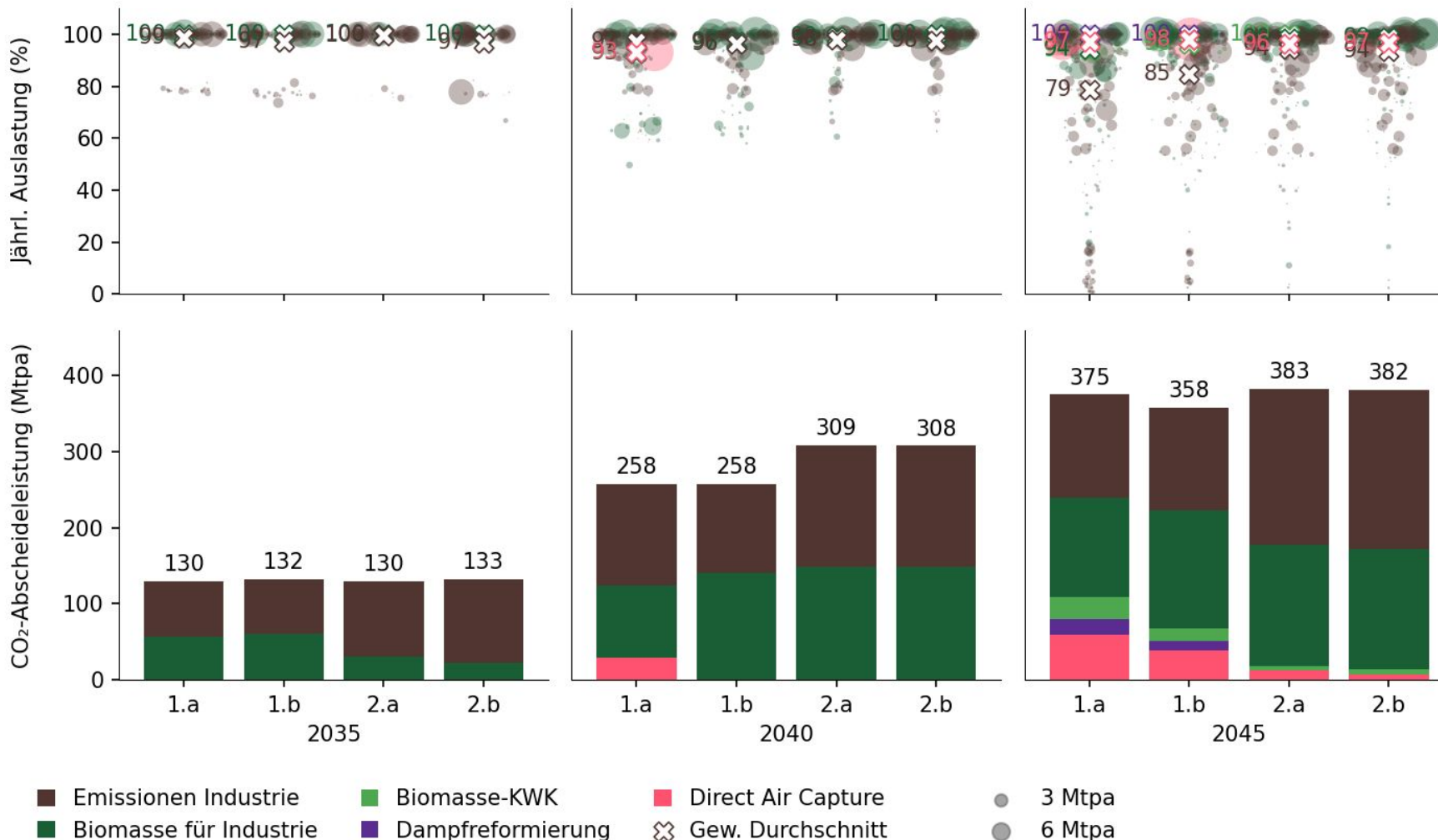
- Konstante Prozess-emissionen und hoher CO₂-Preis machen Abscheidung stets attraktiver als Emittieren

- Biomasse-KWK erzeugt gleichzeitig Strom und Wärme (mit Abscheidung), höchster Nutzen pro Einheit Biomasse
- Knappe Biomassebudget wird daher vorrangig für KWK eingesetzt, nahezu vollständige Auslastung

- Biomassebudget gedeckelt, restliche Verfügbarkeit für Industrie
- Abscheidungsroute benötigt mehr Biomasse als ohne, daher geringere Auslastung

Installierte Carbon-Capture Kapazitäten und Nutzung

Vergleich über Szenarien und Technologien (Europa)



- Überreg. Bedarf für knapp 59 Mtpa DAC-Kapazität (1.a.)
- Endogene Pipelinetopologien reduzieren Bedarf auf 7 Mtpa (2.b) bei Verfügbarkeit von Onshore Speicherpotentialen und bis zu 39 Mtpa bei ausschl. Offshore-Speicherlösungen (1.b)

- DAC und Dampfreformierung aufgrund hoher Investitionskosten "letzte" Instanzen für CO₂-Abscheidung im System