

# Unvermeidbare CO<sub>2</sub>-Mengen aus der Industrie und ihre Infrastrukturen



15. September 2022  
Essen

# Agenda

Zeit	Thema	Vortragender
15:30 – 15:40	Begrüßung	
15:40 – 16:10	CO <sub>2</sub> -Entstehung in der Industrie in NRW	Christoph Zeiss, Wuppertal Institut
16:10 – 16:30	Unvermeidbare (?) CO <sub>2</sub> -Emissionen in Deutschland und mögliche CCUS Infrastrukturen	Dr. Tobias Fleiter, Fraunhofer ISI
16:30 – 16:50	Options for Storage- and Infrastructure of CO <sub>2</sub> in Europe	Ali Abdelshafy, RWTH Aachen
16:50 - 16:55	Verabschiedung	

# CO<sub>2</sub>-Entstehung in der Industrie in NRW



Christoph Zeiss, Wuppertal Institut

15. September 2022  
Essen

# Agenda

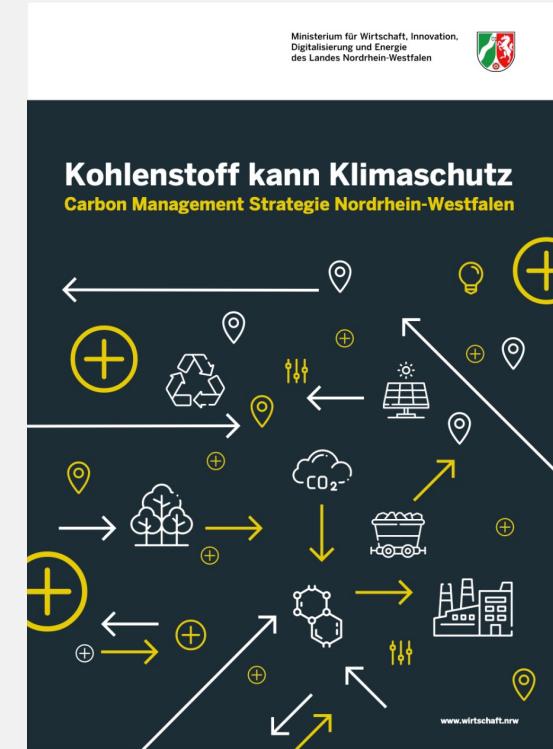
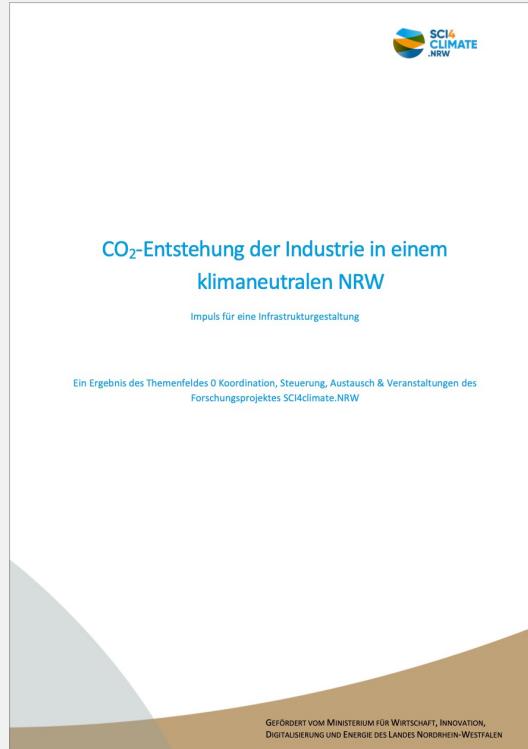
- Fragestellung
- Prozess und Papiere
- Vorgehen
- Berücksichtigte Standorte und Prozesse in NRW
- Annahmen zur Produktionsmengenentwicklung
- CO<sub>2</sub>-Entstehung aus industriellen Quellen in NRW im Jahr 2045
- Entwurf einer CO<sub>2</sub>-Pipelineinfrastruktur in NRW

# Fragestellung

- Welche CO<sub>2</sub>-Mengen werden in einer klimaneutralen Industrie 2045 in NRW noch vorhanden sein?
- Welche Transportinfrastrukturen sind für die angenommenen CO<sub>2</sub>-Mengen notwendig?
- Nicht betrachtet wurden CO<sub>2</sub>-Mengen, die über CCU-Prozesse aus den entstehenden Mengen entnommen werden



# Prozess und Papiere

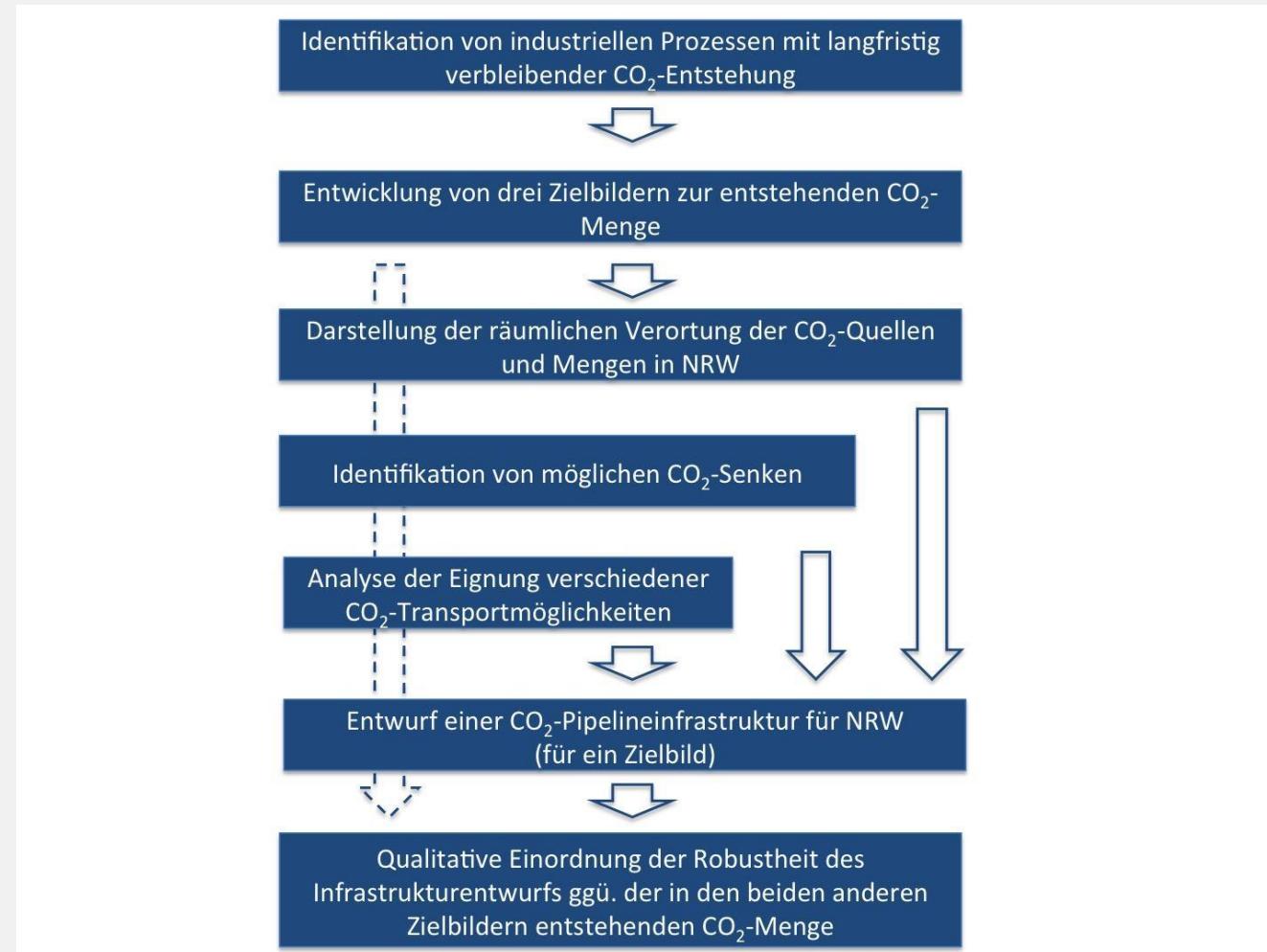


Juni 2021: Christoph Zeiss, Dr. Georg Holtz,  
Ansgar Taubitz und Dario Zander, Wuppertal Institut

Oktober 2021: Dr. Iris Rieth (IN4climate.NRW),  
Dr. Christoph Glasner (Fraunhofer UMSICHT),  
Christoph Zeiss (Wuppertal Institut)

Oktober 2021: Ministerium für Wirtschaft,  
Innovation, Digitalisierung und Energie  
des Landes Nordrhein-Westfalen

# Vorgehen



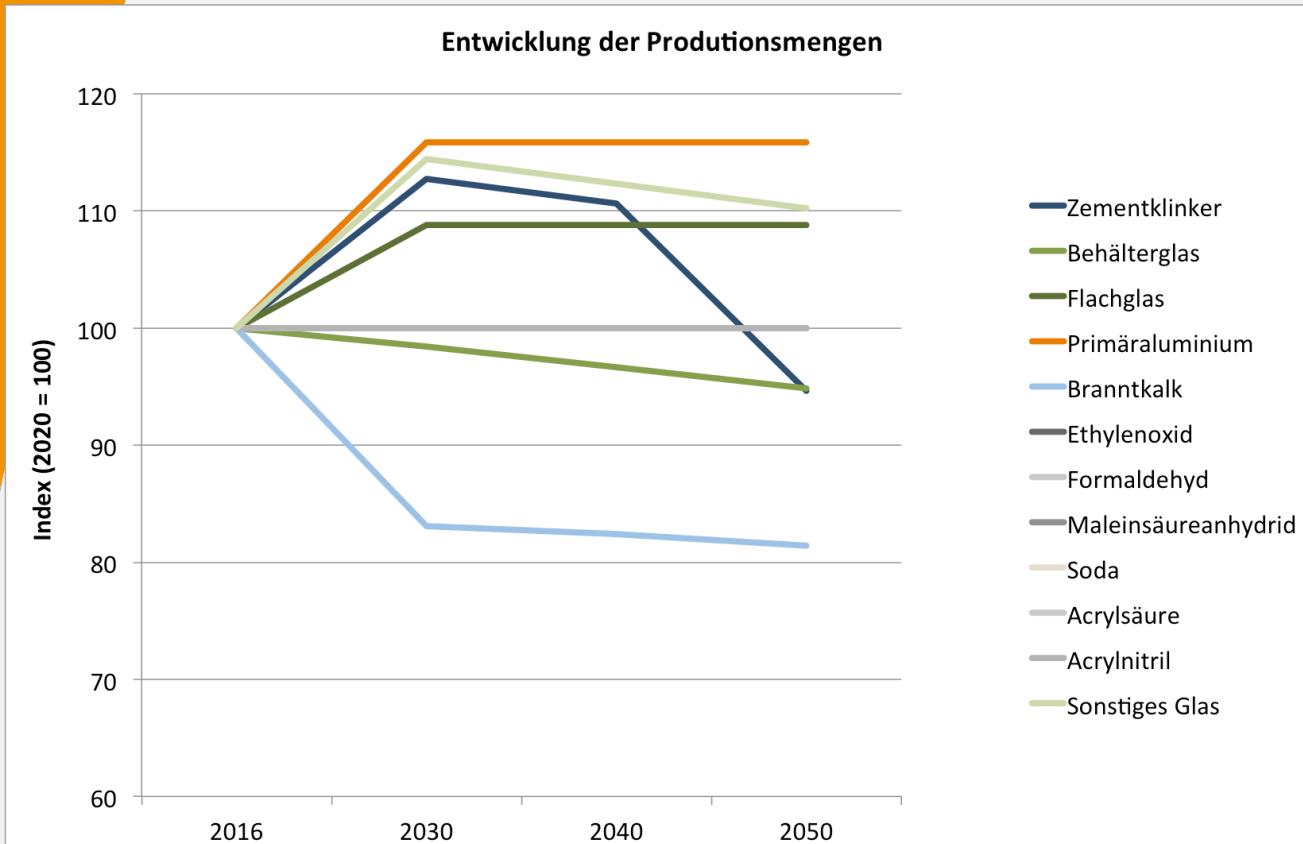
# Berücksichtigte Standorte und Prozesse in NRW

	Anzahl Standorte	Anzahl Prozesse
Eisen und Stahl	9	11
Grundstoffchemie	10	17
Zement	10	11
Kalk	10	43
Glas	14	15
<b>Gesamt</b>	<b>53</b>	<b>97</b>

# Betrachtete Zielbilder 2045

- **Zielbild Tech\_Min:** In diesem Zielbild wird für jede Punktquelle das aus Sicht der Einzelanlage technisch mögliche Minimum der CO2-Entstehung angenommen. Es wird dafür angenommen, dass der durch die Umstellung einiger Prozesse entstehende, sehr hohe, Bedarf an erneuerbaren Energien gedeckt werden kann und benötigte Infrastrukturen an jedem Standort verfügbar sind.
- **Zielbild SYS:** In diesem Zielbild wird eine systemische Sicht über den Industriesektor hinaus eingenommen, und eine (aus Sicht des Wuppertal Instituts plausible) Abwägung zwischen einer Minimierung der CO2-Entstehung aus industriellen Quellen, dem dabei entstehenden Bedarf an erneuerbarer Energie, Infrastrukturerfordernissen, Kosten, sowie sonstiger systemischer Effekte (z.B. Verlagerung von Abfallströmen) vorgenommen. Gegenüber dem Zielbild Tech-Min kommen hier vor Allem CO<sub>2</sub>-Mengen aus abfallbasierten Alternativbrennstoffen der Zementklinker- und Branntkalkherstellung als auch aus einer thermischen Nutzung von Feedstocks an den Steamcrackern hinzu.
- **Zielbild BECCS:** Dieses, an die Studie „Klimaneutrales Deutschland“ (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2020) angelehnte, Zielbild entspricht weitgehend dem Zielbild SYS. Jedoch werden für die Bereitstellung von Prozessdampf in der Grundstoffchemie sowie für die Bereitstellung von Hochtemperaturwärme für die Walzwerke der Stahlindustrie gezielt biogene Energieträger (gasifizierte Biomasse) eingesetzt, um (in Kombination mit CCS) negative Emissionen zu erzeugen.

# Annahmen zur Produktionsmengenentwicklung

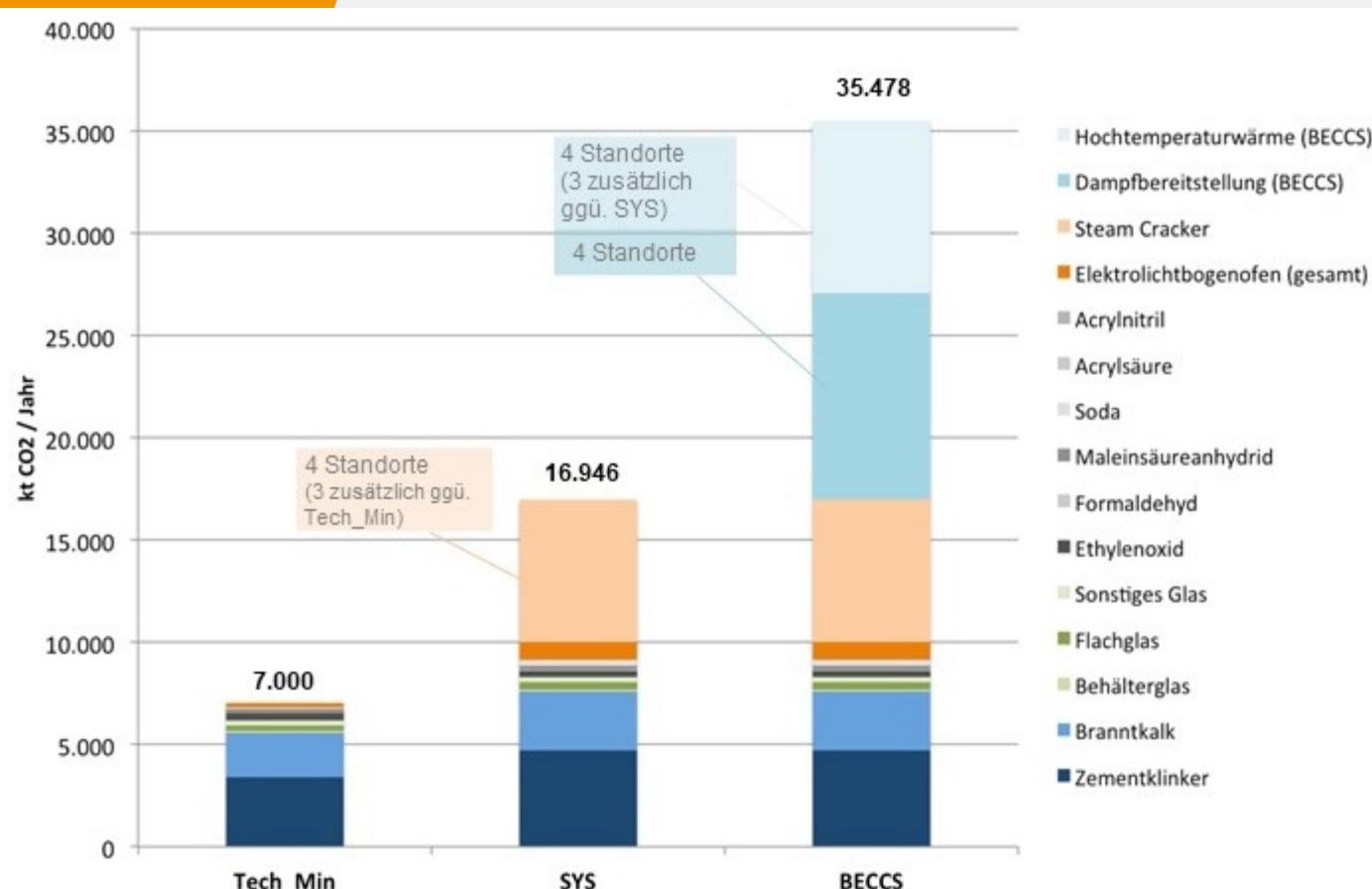


- Zuwächse bei Aluminium, sonstigem Glas (Mineralwolle, Glasfaser) sowie Flachglas
- Gegenläufige Effekte bei Zementklinker
- Reduzierte Nachfrage nach Kalk (Ausstieg Kohleverstromung, Steigender Anteil Sekundärstahl)

## Nicht in Abbildung:

- Massiver Zuwachs der Produktion im Elektrolichtbogenofen (durch Umstellung Primärstahl auf DRI/EAF-Route) auf das ca. 8-fache der heutigen Produktionsmenge (bezogen auf NRW)
- Gleichbleibende Produktionsmenge HVC (high value chemicals) in Steam Crackern

# CO<sub>2</sub>-Entstehung aus industriellen Quellen in NRW im Jahr 2045



## Tech\_Min:

- Steam Cracker: Elektrifizierung und stoffliche Nutzung von Restchemikalien; Naphtha als Feedstock
- DRI/EAF-Stahl: Rezyklierung von CO<sub>2</sub> in DRI-Synthesegas
- Branntkalk: 50% H<sub>2</sub>/Strom, 50% Biomethan
- Zementklinker: Elektrifizierung Kalzinator, Hauptfeuerung: H<sub>2</sub> (20%), Biomethan (80%)

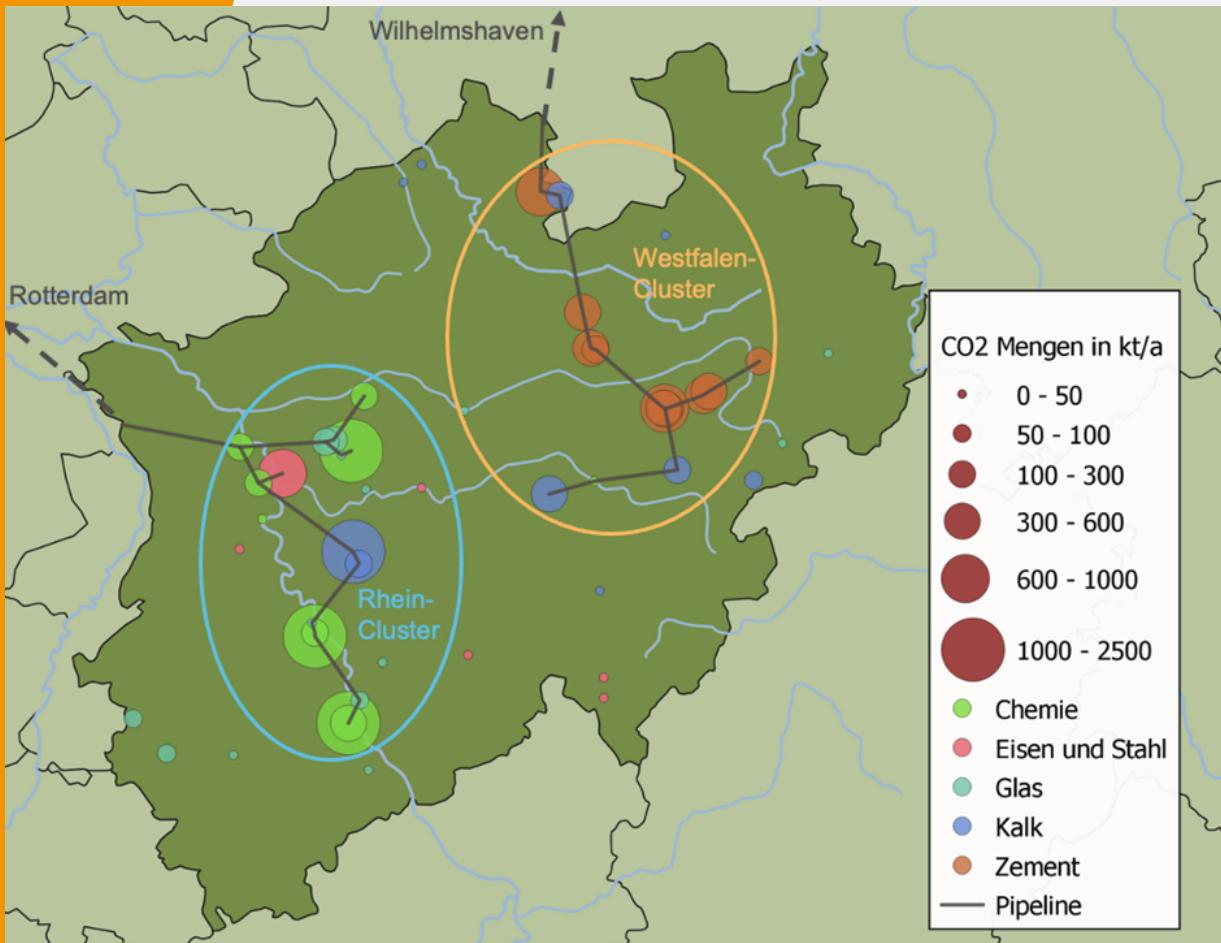
## SYS:

- Steam Cracker: konventioneller Prozess und thermische Nutzung von Restchemikalien; Naphtha als Feedstock
- Branntkalk: 50% Alternativbrennstoffe, 50% Biogas
- Zementklinker: 90% Alternativbrennstoffe, 10 % biogene

## BECCS:

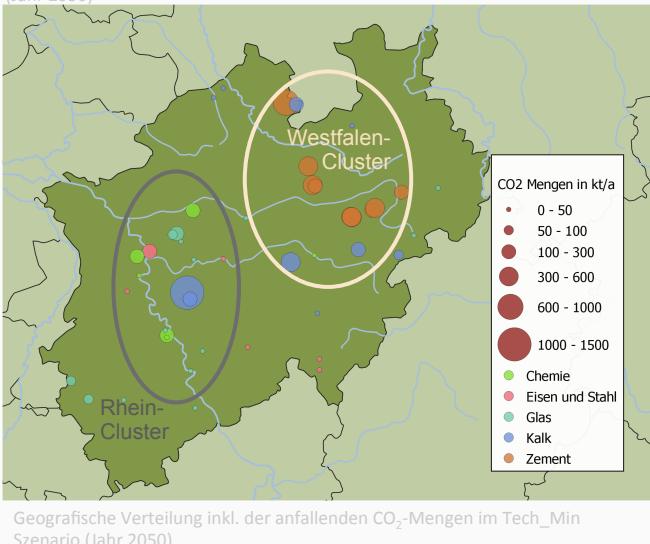
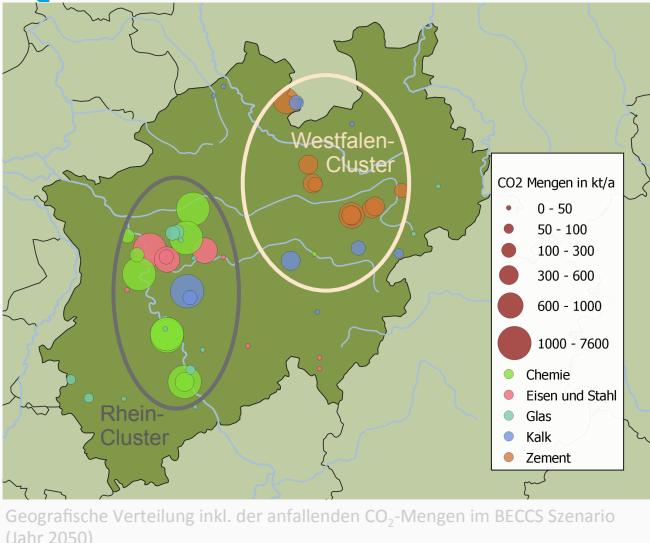
- Einsatz von Biomasse für Dampfbereitstellung (Chemie) sowie für Hochtemperaturwärme (Walzwerke Stahl)

# Entwurf einer CO<sub>2</sub>-Pipelineinfrastruktur in NRW (Szenario SYS)



- Die Pipeline-Infrastrukturen des Rhein- und Westfalen-Clusters binden 30 von 50 Punktquellen ein. Hierbei werden ca. 16,4 MtCO<sub>2</sub> pro Jahr von den ursprünglich 16,9 MtCO<sub>2</sub> berücksichtigt (ca. 97 %).
- Die Bandbreite des CAPEX für den dargestellten Fall beläuft sich auf ca. 565 bis 1.174 Mio. €, inkl. einer Abweichung von +- 35% [6][7].
- Die Gesamtlänge der Pipelineinfrastruktur beträgt 507 Kilometer.
- Der CO<sub>2</sub>-Transport erfolgt zunächst zu den Häfen Rotterdam (Rhein-Cluster) und Wilhelmshaven (Westfalen-Cluster) sowie anschließend daran zu den geologischen Speicherstätten in der Nordsee.

## QUALITATIVE EINORDNUNG DER SZENARIEN BECCS UND TECH\_MIN



- Die im Jahr 2045 anfallenden CO<sub>2</sub>-Mengen in den Szenarien BECCS und Tech Min würden keine wesentlichen Veränderungen in der zuvor dargestellten Pipelineinfrastruktur des Westfalen-Clusters bedeuten.
- Im Rhein-Cluster des BECCS Szenarios würden zusätzlich 3 Punktquellen (Stahlindustrie) hinzukommen. Weiterhin gibt es einen deutlichen Anstieg der CO<sub>2</sub>-Mengen einiger Chemiestandorte (z. B. Dormagen) sowie des Stahlstandortes Duisburg. Hinsichtlich der Länge der Pipelineinfrastruktur bedeutet dies nur eine geringfügige Veränderung. Im Hinblick auf den deutlichen Anstieg der Volumina müsste eine Anpassung der Kapazität erfolgen.
- Das Tech Min Szenario weist im Rhein-Cluster gegenüber dem Szenario SYS deutlich kleinere CO<sub>2</sub>-Mengen auf, was maßgeblich auf den Wegfall von 4 Steam Crackern als große Punktquellen aus dem Chemiektor zurückzuführen ist. Aufgrund der deutlich reduzierten CO<sub>2</sub>-Mengen müsste der Bedarf und die Auslegung einer CO<sub>2</sub>-Pipelineinfrastruktur erneut geprüft werden.

# Fazit

- Die zukünftig (2045) an industriellen Quellen in NRW entstehenden “unvermeidbaren” CO<sub>2</sub>-Mengen schätzen die Autoren in der Größenordnung von 7 Mt CO<sub>2</sub>/a bis 16,9 Mt CO<sub>2</sub> ab. Aus systemischer Sicht (negative Emissionen) könnte auch die Entstehung, Abscheidung und dauerhafte Bindung einer größeren CO<sub>2</sub>-Menge von bis zu 36 Mt CO<sub>2</sub>/a sinnvoll sein.
- Die zukünftige CO<sub>2</sub>-Entstehung an den Steamcrackern hat in zwei der drei betrachteten Zielbilder einen signifikanten Anteil an der gesamten CO<sub>2</sub>-Menge. Die Mengen treten zudem sehr konzentriert an nur wenigen Standorten auf. Die zukünftige Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Entstehung an Steamcrackern ist gleichzeitig mit vielen Unsicherheiten behaftet
- Durch Einbindung von über der Hälfte der Punktquellen (30 von 50) in eine CO<sub>2</sub>-Pipelineinfrastruktur im Zielbild SYS lässt sich bereits der allergrößte Teil (97 %) des entstehenden CO<sub>2</sub> abscheiden und zu Senken transportieren.
- Für die entstehenden CO<sub>2</sub>-Mengen und unter Berücksichtigung der geographischen Lage und Infrastrukturanbindung der Standorte ist für einen großen Teil der Standorte der CO<sub>2</sub>-Transport per Pipeline die sinnvollste Lösung.
- In Westfalen (“Westfalen-Cluster”) empfiehlt sich der Einschätzung der Autoren nach in allen betrachteten Zielbildern der Aufbau eines CO<sub>2</sub>-Pipelinesystems.
- An Rhein und Ruhr (“Rhein-Cluster”) ist die zukünftige CO<sub>2</sub>-Entstehung an den Steamcrackern der Chemieindustrie sowie mögliche CO<sub>2</sub>-Entstehung im Rahmen einer BECCS-Strategie ausschlaggebend für eine zukünftige CO<sub>2</sub>-Infrastruktur.

**VIELEN DANK  
FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!**

<https://www.in4climate.nrw/akteure/wissenschaft>

## TECHNOLOGISCHER HINTERGRUND DER ANGENOMMENEN ZUKÜNTIGEN SPEZIFISCHEN CO<sub>2</sub>-ENTSTEHUNG

	Tech_Min	SYS	BECCS
<b>Acrylsäure, Ethylenoxid, Formaldehyd, Maleinsäureanhydrid</b>	(gleichbleibende Prozesse mit prozessbedingten Emissionen)	(gleichbleibende Prozesse mit prozessbedingten Emissionen)	(gleichbleibende Prozesse mit prozessbedingten Emissionen)
<b>Soda</b>	Optimiertes Solvay-Verfahren (kein CO <sub>2</sub> )	Solvay-Verfahren (prozessbed. CO <sub>2</sub> )	Solvay-Verfahren (prozessbed. CO <sub>2</sub> )
<b>Steam Cracker (Naphtha als Feestock; inkl. Nutzung von Restchemikalien)</b>	Elektrifizierung; stoffliche Nutzung von Restchemikalien	Konventioneller Betrieb, thermische Nutzung von Restchemikalien	Konventioneller Betrieb, thermische Nutzung von Restchemikalien
<b>Dampfbereitstellung Chemiepark</b>	Strom / H <sub>2</sub>	Strom / H <sub>2</sub>	Gasifizierte Biomasse
<b>Aluminiumelektrolyse</b>	Inerte Anode	Inerte Anode	Inerte Anode
<b>Elektrolichtbogenofen (Schrott / DRI)</b>	Anodenabbrand, C-basierte Schaumschlackebildner. DRI-EAF: Rezyklierung von CO <sub>2</sub> in DRI-Synthesegas	Anodenabbrand, C-basierte Schaumschlackebildner	Anodenabbrand, C-basierte Schaumschlackebildner
<b>Stahl (HT-Wärme für Walzwerke)</b>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	Gasifizierte Biomasse
<b>Zementklinker</b>	Elektrifizierung Kalzinator, Hauptfeuerung: 20% H <sub>2</sub> , 80% Biomethan	90% ABS, 10% biogene Brennstoffe	90% ABS, 10% biogene Brennstoffe
<b>Branntkalk</b>	50% H <sub>2</sub> /Elektrifizierung, 50% Biomethan	50% ABS, 50% Biogas (aufbereitet)	50% ABS, 50% Biogas (aufbereitet)
<b>Behälterglas / Flachglas</b>	Elektrische Zusatzheizung, Beimischung H <sub>2</sub> ins Brenngas (50% <sub>vol</sub> ), Biomethan	Elektrische Zusatzheizung, Biogas (aufbereitet)	Elektrische Zusatzheizung, Biogas (aufbereitet)
<b>Spezialglas, Glasfaser</b>	Elektrifizierung	Elektrifizierung	Elektrifizierung
<b>Steinwolle</b>	(Effizienter) konventioneller Prozess	(Effizienter) konventioneller Prozess	(Effizienter) konventioneller Prozess