



STRUKTURWANDEL: Kohlenstoffbasierte Industrien in Mitteldeutschland auf dem Weg in neue Märkte

**– Wirtschaftliche Ausgangslage und
Entwicklungspotentiale**

Basisstudie im Rahmen des STARK-Projekts unter dem Titel: „**Strukturwandel: Kohlenstoffbasierte Industrien in Mitteldeutschland auf dem Weg in neue Märkte – Wirtschaftliche Ausgangslage und Entwicklungspotentiale**“. Die Studie ist in Zusammenarbeit mit dem Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH und dem Unternehmensberater Arvid Friebe durchgeführt worden. Auftraggeber ist der Forum Rathenau e.V. Der Verein wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert.



Arvid Friebe
Projektmanagement – Interimsmanagement
Betriebsorganisation

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Bibliographische Angaben:

Herausgeber: Forum Rathenau e.V.
Veröffentlicht: Erstveröffentlichung (Version 1.0): 18.03.2025
Überarbeitete Fassung (Version 2.0): 24.06.2025
Autor*innen: Christoph Zeiss, Wuppertal Institut; Arvid Friebe
Dr. Jan Bitter-Krahe, Dr. Valentin Espert, Maximilian Hoffmann, Lea Pattberg,
Alexander Scholz, Nora Weber, Wuppertal Institut
Projektteam: Dr. Kerstin Schmidt, Melanie Bitzer, Madita Flohe, Lilli Isabell Förster,
Helena Tiare Herre, Ludmilla Martens, Thies Schröder
Kontakt: info@forum-rathenau.de
Webseite: www.forum-rathenau.de

Impressum:

Forum Rathenau e.V. (Hrsg.)



Andresenstraße 1A
06766 Bitterfeld-Wolfen
Tel.: 03494/6579210



Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung der Basisstudie	VII
1 Auftrag und Zielsetzung der Studie	IX
2 Kompetenzen der Auftragnehmer	IX
3 Methodiken und Systemgrenzen	XI
4 Aufbau der Studie	XIII
5 Die Teilberichte der Studie	XIV
5.1 Die Lage der fossil-basierten Industrie im Mitteldeutschen Revier	XIV
5.2 Übersicht einer zukunftsfähigen Kohlenstoffkreislaufwirtschaft auf Basis eines Klimaneutralitätsszenarios	XXII
5.3 Einordnung von Kohlenstoffströmen hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit	XXIV
5.4 Akzeptanzfragen der Kohlenstoffwirtschaft	XXV
5.5 Perspektiven der Kreislaufwirtschaft im Kontext einer Kohlenstoffwirtschaft	XXVIII
5.6 Die petrochemische Industrie in Mitteldeutschland	XXX
5.7 Akteursbasierte Diskussion und Umsetzung einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft	XXXII
5.8 Aktuelle politische Prozesse zur Kohlenstoffwirtschaft	XXXIV
5.9 Kohlenstoffwirtschaft im Wandel: Strategien für Klimaneutralität im Mitteldeutschen Revier	XXXVI
5.9.1 Veränderungsintensität von Unternehmen im Mitteldeutschen Revier	XXXVI
5.9.2 Roadmap für eine klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft	XLII
6 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen	XLIV
7 Literatur	XLVI
Anhang 1: Protokoll Basisstudie-Abschlusspräsentation	XLVII
I) Die Lage der fossil-basierten Industrie im Mitteldeutschen Revier	51
1.1 Einführung: Die „kohlenstoffbasierte Industrie“ im Mitteldeutschen Revier	53
1.2 Studienauftrag für Teilbericht 1	56
1.3 Branchenprofil der kohlenstoffbasierten Industrien	57

1.4	<u>Unternehmensanalysen: Status Quo und Perspektiven ausgewählter Betriebe</u>	83
1.5	<u>Bioökonomie als Alternative: Regionale Vorreiter und Innovationspotentiale</u>	86
1.6	<u>Ergebnisse und Handlungsempfehlungen</u>	90
1.7	<u>Literatur</u>	93
	<u>Anhang 2: Definition des Untersuchungsgebietes</u>	95
	<u>Anhang 3: Definition der „kohlenstoffbasierten Industrie“</u>	96
	<u>Anhang 4: Methodik der Datenaufbereitung</u>	97
	<u>Anhang 5: Experteninterviews</u>	100
II)	<u>Zukunftsperspektiven einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft</u>	101
2.1	<u>Einführung: Kohlenstoffwirtschaft in Klimaneutralitätsszenarien</u>	103
2.2	<u>Studienauftrag für den Teilbericht II</u>	103
2.3	<u>Methodik und Systemgrenzen</u>	104
2.4.	<u>Überblick über wichtige Kohlenstoffströme im klimaneutralen Zielsystem</u>	106
2.5	<u>Unternehmens- und Institutsperspektiven aus dem Rheinischen Revier</u>	113
2.6	<u>Zusammenfassung und Fazit</u>	117
2.7	<u>Literatur</u>	118
III)	<u>Bewertung von Kohlenstoffströmen und deren Wertschöpfungspotentiale</u>	119
3.1	<u>Einführung: Kohlenstoffkreisläufe</u>	121
3.2	<u>Studienauftrag für den Teilbericht III</u>	121
3.3	<u>Methodik und Systemgrenzen</u>	122
3.4	<u>Grundlagen einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft</u>	122
3.4.1	<u>Definition einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft</u>	122
3.4.2	<u>Kohlenstoffpfade am Beispiel der Kunststoffproduktion</u>	125
3.5	<u>Kriterien zur Bewertung von Kohlenstoffpfaden einer klimaneutralen Industrie</u>	128
3.6	<u>Potentielle Marktakteure bei der Erzeugung von negativen Emissionen (CDR)</u>	130
3.7	<u>Literatur</u>	133



IV)	<u>Akzeptanzfragen der Kohlenstoffwirtschaft</u>	135
4.1	<u>Einführung: Gesellschaftliche Akzeptanzfragen</u>	137
4.2	<u>Studienauftrag für den Teilbericht IV</u>	138
4.3	<u>Methodik und Systemgrenzen</u>	138
4.4	<u>Gesellschaftliche Akzeptanz von Carbon Capture and Storage (CCS)</u> <u>– Das Projekt ProtanzNRW</u>	138
4.5	<u>Partizipation in der Industrietransformation – Das Projekt PartInKN</u>	148
4.6	<u>Empfehlungen für das Mitteldeutsche Revier</u>	153
4.7	<u>Literatur</u>	157
	<u>Anhang 6: Fragebogen zum Projekt PartInKN</u>	158
V)	<u>Perspektiven der Kreislaufwirtschaft im Kontext einer Kohlenstoffwirtschaft</u>	161
5.1	<u>Einführung: Kreislaufwirtschaft in der Kohlenstoffwirtschaft</u>	163
5.2	<u>Studienauftrag für den Teilbericht V</u>	163
5.3	<u>Methodik und Systemgrenzen</u>	163
5.4	<u>Stand der Forschung und Kernaussagen</u>	164
5.4.1	<u>Kohlenstoff- und Kreislaufwirtschaft als Zwillingiskonzepte</u>	164
5.4.2	<u>Interdisziplinäre Anforderungen an eine zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft</u>	165
5.4.3	<u>Nutzbarmachung von Kohlenstoff-Abfallströmen</u>	165
5.4.4	<u>Bewertung der Rolle von CCS in der Kreislaufwirtschaft</u>	166
5.5	<u>Systematische Diskussion relevanter Strategien</u>	167
5.5.1	<u>Strategien zur Reduktion des Kohlenstoffbedarfs</u>	168
5.5.2	<u>Strategien zur Verlängerung der Nutzungsdauer</u>	169
5.5.3	<u>Strategien zur Rückführung und Wiederverwertung</u>	170
5.5.4	<u>Geschäftsmodelle für zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft</u>	171
5.5.5	<u>Regionale Empfehlungen für das Mitteldeutsche Revier</u>	172
5.6	<u>Zusammenfassung und Fazit</u>	175
5.7	<u>Literatur</u>	177
	<u>Anhang 7: Workshop-Konzept Zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft</u>	179

VI)	<u>Die petrochemische Industrie im Mitteldeutschen Chemiedreieck</u>	183
6.1	<u>Einführung: Petrochemische Industrie</u>	185
6.2	<u>Studienauftrag für den Teilbericht VI</u>	186
6.3	<u>Methodik und Systemgrenzen</u>	186
6.4	<u>Das petrochemische System in Nordwesteuropa</u>	187
6.5	<u>Das petrochemische Cluster Mitteldeutsches Chemiedreieck</u>	189
6.6	<u>Literatur</u>	194
VII)	<u>Zentrale Aspekte einer aktorsbasierten Diskussion und Umsetzung einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft</u>	197
7.1	<u>Einführung: Aktorsbasierte Diskussionen auf dem Weg zu einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft</u>	199
7.2	<u>Studienauftrag für den Teilbericht VII</u>	199
7.3	<u>Methodik und Systemgrenzen</u>	199
7.4	<u>Meilensteine der Diskussion zur Kohlenstoffwirtschaft in NRW</u>	200
7.4.1	<u>Der Klimaschutzplan des Landes NRW</u>	200
7.4.2	<u>Begleitforschung in der Industrietransformation – Das Projekt SCI4climate.NRW</u>	201
7.4.3	<u>Transformation der energieintensiven Grundstoffindustrie – Das Projekt IN4climate.NRW</u>	202
7.4.4	<u>Chancen und Hindernisse im Transformationsprozess zur Klimaneutralität – Das Projekt In4climate.RR</u>	202
7.5	<u>Das Zukunftslabor Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft</u>	205
7.6	<u>Ausblick</u>	215
7.7	<u>Literatur</u>	218
VIII)	<u>Übersicht aktuelle politische Prozesse zur Kohlenstoffwirtschaft</u>	221
8.1	<u>Einführung: Aktuelle politische Prozesse zur Kohlenstoffwirtschaft</u>	223
8.2	<u>Studienauftrag für den Teilbericht VIII</u>	223
8.3	<u>Methodik und Systemgrenzen</u>	223
8.4	<u>Aktuelle politische Prozesse auf Bundesebene</u>	224
8.4.1	<u>Die Carbon Management-Strategie des Bundes</u>	225
8.4.2	<u>Die Strategie im Umgang mit Negativemissionen</u>	227
8.4.3	<u>Die Novellierung des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes</u>	229
8.4.4	<u>Die Bundesagentur für Sprunginnovationen</u>	230



8.5	Aktuelle Entwicklungen zur Carbon Management Strategie auf Landesebene	232
8.6	Internationale Politische Entwicklungen	235
8.7	Zusammenfassung und Fazit	240
8.8	Literatur	241
IX)	Kohlenstoffwirtschaft im Wandel: Strategien für Klimaneutralität im Mitteldeutschen Revier – Eine Roadmap zur Transformation	247
9.1	Einführung: Eine Roadmap zur Transformation in der Kohlenstoffwirtschaft	249
9.2	Studienauftrag für den Teilbericht IX	249
9.3	Methodik und Systemgrenzen	250
9.4	Roadmap für eine klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft	250
9.4.1	Unternehmen im Wandel: Veränderungspotential	250
9.4.2	Vorgehen und Auswahl von Strategien	254
9.4.3	Strategien auf dem Weg zu einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft	258
9.4.4	Roadmap für die nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier	274
9.5	Zusammenfassung und Fazit	275
9.6	Literatur	277
	Abkürzungsverzeichnis	279
	Abbildungsverzeichnis	281
	Tabellenverzeichnis	286

KURZFASSUNG DER BASISSTUDIE



1 Auftrag und Zielsetzung der Studie

Die Basisstudie „Kohlenstoffbasierte Industrien in Mitteldeutschland“ bietet eine umfassende Analyse des Status und der Zukunft der kohlenstoffbasierten Industrien am Beispiel des Mitteldeutschen Reviers (Sachsen-Anhalt, Sachsen). Sie betrachtet die aktuellen Strukturen, Technologien und Lieferketten dieser kohlenstoffbasierten Industrien angesichts der Herausforderungen des Strukturwandels. Zentral wird die Entwicklung zukunftsweisender Visionen und Lösungen betrachtet, die sowohl die Nachhaltigkeit wie die Wettbewerbsfähigkeit der kohlenstoffbasierten Industrien in Mitteldeutschland verbessern sollen. Dabei liegt ein Schwerpunkt auf transformativen statt disruptiven Entwicklungen, soweit dies möglich ist. Die Integration neuartiger Stoff- und Materialkreisläufe in die Lieferketten einer nachhaltig konzipierten, zukunftsfähigen Industrielandschaft sowie sich daraus ergebende praxisbezogene Handlungsempfehlungen für die voranschreitenden und innovativen Branchen der Chemieindustrie, der Material- und Bauwirtschaft und der assoziierten Dienstleistungen stehen im Fokus dieser Studie.

Diese Studie gibt einen Überblick über das aktuelle Wissen und wichtige Einzelaspekte einer Kohlenstoffkreislaufwirtschaft und zeigt erste Ansätze für eine Transformation der Industrie in Mitteldeutschland. Dies geschieht vor dem Hintergrund der Aufgaben des Forums Rathenau, das sich mit den „kommenden Dingen“, den zukünftigen Wertschöpfungsoptionen der Kohlenstoffwirtschaft in Mitteldeutschland beschäftigt.

Das Wuppertal Institut und Arvid Friebe haben für diese Studie den aktuellen Stand und zentrale eigene Erkenntnisse zur Kohlenstoffwirtschaft zusammengefasst und aufgearbeitet. Dabei wurde die ganze Bandbreite der Transformationsthemen zur Kohlenstoffwirtschaft untersucht, von den politischen Rahmenbedingungen über die Struktur und die Unternehmen der Kohlenstoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier bis hin zu der Struktur der petrochemischen Industrie. Die daraus gesammelten Erkenntnisse fließen in einer Roadmap zusammen, die Ausgangspunkte für weitere konkrete Schritte im Mitteldeutschen Revier bietet. Die Darstellung der einzelnen Themen erfolgt in Teilberichten, die jeweils einen wichtigen Teilaspekt der Transformation zur Kohlenstoffkreislaufwirtschaft auf Basis aktueller Forschung und bereits laufender politischer Prozesse beschreiben. Das Format der Teilberichte ermöglicht, diese Erkenntnisse gezielt in die Akteursprozesse der nachfolgenden Arbeiten des Forums Rathenau einzubringen, und damit insbesondere die Transformationsfähigkeit bestehender Unternehmen und das Gründungsökosystem Mitteldeutschland zu stärken.

2 Kompetenzen der Auftragnehmer

Die Studie wurde gemeinsam vom Wuppertal Institut und Arvid Friebe erstellt.

Das **Wuppertal Institut** erforscht und entwickelt Leitbilder, Strategien und Instrumente für Übergänge zu einer nachhaltigen Entwicklung auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene. Im Zentrum stehen Ressourcen-, Klima- und Energieherausforderungen in ihren Wechselwirkungen mit Wirtschaft und Gesellschaft. Die Analyse und das Anstoßen von Innovationen zur Entkopplung von Naturverbrauch und Wohlstandsentwicklung bilden einen Schwerpunkt der Forschung des Wuppertal Instituts. Problemfelder, Lösungsansätze und Netzwerke sind dabei gleichermaßen global, national sowie regional, lokal ausgerichtet.

Die Arbeiten des Wuppertal Instituts reichen von komplexen Energiesystem- und Szenarioanalysen

über Identifikation und Bewertung der Ressourcenflüsse entlang der Wertschöpfungsketten bis hin zu Untersuchungen der spezifischen Innovationssysteme beteiligter Branchen und betroffener Regionen. Dabei untersucht das Wuppertal Institut Möglichkeiten, wie der Strukturwandel durch Innovationen in Hinblick auf ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit gestaltet werden kann. Eine Besonderheit der Arbeiten liegt in der transdisziplinären Forschung, in der die Projekte im engen Zusammenspiel mit den jeweiligen Akteurinnen und Akteuren aus der Industrie umgesetzt werden. Ziel ist es, zukunftsfähige Wege mit Industrie und Gesellschaft in gemeinsamen Lernprozessen zu erforschen und zu gestalten und auf dieser Basis sowohl Politikvorschläge als auch Unternehmensstrategien zu entwickeln. In diesem Rahmen werden Unternehmen in ihren Prozessen des Nachhaltigkeits- und Innovationsmanagements begleitet und dabei wichtige Innovationsfelder in der (industriellen) Wertschöpfungskette – wie etwa Dematerialisierung, Öko-Design-Strategien und die Industrie 4.0 – adressiert.

Das Wuppertal Institut bearbeitet eine Vielzahl von Projekten, die sich mit der Industrietransformation und einer nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft beschäftigen.

Beispielhaft sind zu nennen:

- **IN4climate.NRW** im Rheinischen Revier – kurz IN4climate.RR – ist ein gemeinsames Projekt von IN4climate.NRW (eine Initiative im Rahmen von NRW.Energy4Climate) und des Wuppertal Instituts. Es hat zum Ziel, die Transformation der Industrie im Rheinischen Revier zur Klimaneutralität strategisch zu flankieren und zu unterstützen. Dazu werden die zahlreichen industrieorientierten Projekte und Forschungsthemen im Rheinischen Revier in die Gesamttransformation der Industrie von Nordrhein-Westfalen sowie der Nachbarländer und benachbarter Bundesländer eingebettet und individuell strategisch vernetzt und begleitet. Im Zukunftslabor „Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft“ arbeitet In4climate.RR mit Unternehmen, Forschung und relevanten Institutionen daran, mit prozessbedingt entstehenden Mengen von CO₂ umzugehen und Potentiale zur Etablierung neuer Wertschöpfungsketten im Rheinischen Revier auszuloten.
- **SCI4climate.NRW** ist ein vom Land Nordrhein-Westfalen (NRW) im Zusammenhang mit der Initiative IN4climate.NRW unterstütztes Forschungsprojekt zur Entwicklung einer klimaneutralen und zukunftsfähigen Industrie im Jahr 2050. Ziel ist die wissenschaftliche Betrachtung der technologischen, ökologischen, ökonomischen, institutionellen und (infra-) strukturellen Systemherausforderungen für Nordrhein-Westfalen und die dort ansässigen produzierenden Unternehmen der energieintensiven Grundstoffindustrie. Die wissenschaftlichen Arbeiten erfolgen in enger Interaktion mit Akteurinnen und Akteuren aus Industrie und Gesellschaft, umfassen die Erarbeitung von Studien sowie die Entwicklung konzeptionell neuer Ansätze. In einem transdisziplinären Prozess mit den Partnerinnen und Partnern aus der Industrie und der Wissenschaft soll das Wissen um mögliche Pfade und deren Auswirkungen hin zu einer klimaneutralen Industrie erweitert und verbreitet werden. Die Federführung des Forschungsprojektes liegt beim Wuppertal Institut.
- **GreenFeed**: Green Feedstock for a Sustainable Chemistry – Energiewende und Ressourceneffizienz im Kontext der dritten Feedstock-Transformation der chemischen Industrie. Das vom Wuppertal Institut geleitete Vorhaben GreenFeed exploriert gemeinsam mit den Verbundpartnern Karlsruher Institut für Technologie und Deutsches Biomasseforschungszentrum mögliche Pfade hin zu einem auf erneuerbaren Rohstoffen basierenden zirkulären und klimaneutralen System. Mit den Methoden der Szenarioanalyse und Technikbewertung zeigen die Forschenden auf, wie die Kreislaufführung von Kohlenstoff und ein Wechsel der Rohstoffbasis maßgeblich zu einer primärenergetisch effizienten und klimaneutralen Wirtschaftsweise beiträgt.

- **KNDE:** Klimaneutrales Deutschland 2050/2045: Im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität erarbeiten Prognos, das Öko-Institut und das Wuppertal Institut wissenschaftlich fundierte Strategien und Maßnahmen zur Klimaneutralität Deutschlands im europäischen Kontext bis 2050. Die erarbeiteten Szenarien umfassen alle Sektoren und ihre Wechselwirkungen: Energie, Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft, Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft und Abfälle. Die Forschenden aus der Abteilung Zukünftige Energie- und Industriesysteme am Wuppertal Institut sind für die Erarbeitung der Industrieszenarien zuständig. Die Ausarbeitung der Industrieszenarien erfolgt mithilfe des Wuppertal Institute System Model Architecture for Energy and Emission Scenarios – Energy Demand Model (WISEE-EDM), das die Entwicklung des industriellen Anlagenparks sowie die industriellen Energiebedarfe und CO₂-Emissionen im zeitlichen Verlauf unter Berücksichtigung von Produktionsmengen, Reinvestitionszyklen, technologischer Entwicklung sowie (standortspezifischer) Verfügbarkeit von Energieträgern simuliert.

Arvid Friebe ist freiberuflicher Unternehmensberater mit den Schwerpunkten Projektmanagement, Interimsmanagement und Betriebsorganisation. Er ist insbesondere in den Bundesländern Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen tätig. Arvid Friebe hat über mehr als 20 Jahre Berufserfahrung an der Schnittstelle zwischen Privatwirtschaft und öffentlichem Dienst, zuletzt als Geschäftsführer eines kommunalen Chemie- und Industrieparkbetreibers, davor als Senior Projektmanager der Wirtschaftsförderungsgesellschaft des Landes Sachsen-Anhalt. Arvid Friebe verfügt als diplomierter Politikwissenschaftler mit den Schwerpunkten Volkswirtschaft und Rechtswissenschaften über exzellente Kenntnisse der hiesigen Industrielandschaft, insbesondere der Chemieindustrie.

3 Methodiken und Systemgrenzen

Die Erarbeitung der Studie erfolgte im Zeitraum Mai 2024 bis Februar 2025. Zur Erarbeitung der Studie wurden unterschiedliche Methodiken angewendet, die in den einzelnen Teilberichten ausführlicher beschrieben werden. Zur Identifikation, der von der Transformation zur klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft betroffenen Unternehmen, wurde eine eigene Definition der Kohlenstoffwirtschaft erarbeitet, und die davon betroffenen Unternehmen im Untersuchungsgebiet wurden mittels Auswertung statistischer Daten identifiziert. Das Untersuchungsgebiet bezieht neben den im Investitionsgesetz Kohleregionen InvKG genannten Gemeinden und Gemeindeverbänden (Landkreis Leipzig, Stadt Leipzig, Landkreis Nordsachsen, Burgenlandkreis, Saalekreis, kreisfreie Stadt Halle, Landkreis Mansfeld-Südharz, Landkreis Anhalt-Bitterfeld) zusätzlich noch die Landkreise Salzlandkreis, Wittenberg, Altenburger Land sowie die Stadt Dessau ein.

Zur Qualifizierung und Überprüfung der Studienergebnisse wurden im Zeitraum zwischen Juni 2024 und Februar 2025 zwölf Interviews mit zentralen Akteuren aus dem Mitteldeutschen Revier geführt und qualitativ ausgewertet, um die Erkenntnisse aus der statistischen Auswertung zu vertiefen und zu verifizieren.

Weitere Teilberichte basieren im Sinne einer Metastudie auf Literaturlauswertungen zum Mitteldeutschen Revier sowie auf eigenen Publikationen und unveröffentlichten Daten und Projektergebnissen des Wuppertal Instituts. Je nach Teilprojekt wurden unterschiedliche Systemgrenzen betrachtet. So bezieht der Teilbericht zur Akzeptanz der Kohlenstoffkreislaufwirtschaft aktuelle Forschungsergebnisse aus Nordrhein-Westfalen ein, der Teilbericht zum petrochemischen System das Petrocluster Mitteldeutschland und der Teilbericht zu den politischen Rahmenbedingungen das Mehrebenen-

system aus Bundesländern, der nationalen Ebene sowie der europäischen Ebene.

Die Roadmap als Schlussfolgerung aus der Studie bündelt die Erkenntnisse der Teilberichte und ergänzt in einem Analyseschritt konkrete Änderungsbedarfe und -intensitäten ausgewählter Unternehmen aus dem Mitteldeutschen Revier. Die Veränderungsintensität beschreibt hier qualitativ das Ausmaß und die Dringlichkeit notwendiger Anpassungen, die ein Unternehmen vornehmen muss, um auf externe und interne Herausforderungen zu reagieren und wettbewerbsfähig zu bleiben. Diese kann sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf das Unternehmen haben. Aus dieser Analyse wurden zentrale Strategien zur Transformation hin zur Klimaneutralität und nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft abgeleitet, die dann zu konkreten Strategien und Strategiebausteinen für das Mitteldeutsche Revier weiterentwickelt wurden. Diese werden anhand von Steckbriefen beschrieben und mit zentralen Meilensteinen auf einer Zeitachse bis 2045 versehen.

Dieser Prozess erfolgte in enger Abstimmung und Diskussion mit dem Projektbegleitenden Kreis des Forums Rathenau. Mitglieder des projektbegleitenden Kreises waren: Prof. Dr. Ralf Wehrspohn (Vorstandsvorsitzender des Forum Rathenaus e.V.), Anke Schadewald (Vorstandsvorsitzende IKTR - Institut für Kunststofftechnologie und -recycling e.V.), Hendrik Senkbeil (IHK - Industrie- und Handelskammer Halle-Dessau), Elena Herzel (Geschäftsführerin EWG - Entwicklungs- und Wirtschaftsförderungsgesellschaft Anhalt-Bitterfeld mbH) und Dr. Andreas Kohl (Head of Specialty Chemicals & Catalysts Verbio SE Leipzig).

Der Projektbegleitende Kreis traf sich drei Mal während der Projektlaufzeit. In der ersten Sitzung am 18. September 2024 wurde die Struktur der Studie vorgestellt und über die ersten Ergebnisse der statistischen Auswertung der Unternehmen in der Region gesprochen. Es wurden gemeinsam Unternehmen ausgewählt, die für die Interviews im Teilbericht 1 angesprochen wurden, und Fragestellungen für die Interviews gesammelt. In der zweiten Sitzung am 29. November 2024 gab das Wuppertal Institut eine Übersicht über die ersten Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete. Der Projektbegleitende Kreis diskutierte intensiv über die Unternehmensauswertung und deren Einordnung bezüglich der Änderungsintensität hinsichtlich der Transformation zur nachhaltigen Kohlenstoffkreislaufwirtschaft. In der abschließenden Sitzung am 25. Januar 2025 wurden die Ergebnisse der bis dahin geführten Interviews sowie die Ergänzung um weitere Interviewpartner besprochen. Zusätzlich diskutierte der Kreis über die Ergebnisse der Roadmap für das Mitteldeutsche Revier und ergänzte wichtige Aspekte und Strategiebausteine.

Am 27. Februar 2025 wurden im Industriemuseum Wolfen Bitterfeld vor einem Fachpublikum zentrale Ergebnisse der Studie vorgestellt und diskutiert. In der anschließenden Diskussion wurden mehrere zentrale Aspekte ergänzt, die über die vorgestellten Inhalte hinausgingen. Ein wesentlicher Punkt betraf die Genehmigungs- und Zulassungsverfahren. Dabei wurde weniger über klassische Betriebsgenehmigungen nach dem Bundesemissionsschutzgesetz gesprochen, sondern vielmehr über langwierige Produktzulassungsverfahren. Insbesondere die hohen Sicherheitsanforderungen für neue Materialien, wie beispielsweise Bitumen mit biobasierten Anteilen, stellen eine Herausforderung dar und führen dazu, dass innovative Produkte nur langsam auf den Markt kommen.

Ein weiteres wichtiges Thema war das Fehlen klarer gesetzlicher Rahmenbedingungen. Es wurde darauf hingewiesen, dass insbesondere die Regelungen zur CO₂-Speicherung und zum CO₂-Transport unzureichend seien, wodurch der gesamte Aufbau einer CO₂-Infrastruktur ins Stocken gerät. Deutschland hinkt in diesem Bereich anderen Ländern wie Dänemark hinterher, wo bereits CO₂-Speicher genehmigt werden. Die fehlende regulatorische Sicherheit erschwere Unternehmen

langfristige Investitionen und Innovationsprojekte.

Darüber hinaus wurde betont, dass Kooperationen und Netzwerke bereits eine wichtige Rolle spielen. Große Chemieunternehmen der Region tauschen sich regelmäßig über strategische Fragen zur Kohlenstoffwirtschaft aus. Es gibt bereits wichtige Projekte wie CapTRansCO₂, in dem Machbarkeit einer klimaneutralen mitteldeutschen Industrie durch den Aufbau einer vernetzten CO₂-Transportinfrastruktur für CCU/CCS untersucht wurden. Dennoch fehlt es an einer übergeordneten, strategischen Koordination auf regionaler und nationaler Ebene.

Ein kritischer Punkt in der Diskussion war zudem die Verfügbarkeit grüner Vorprodukte. Es wurde darauf hingewiesen, dass Deutschland voraussichtlich nur etwa 12 bis 13 Prozent des grünen Kohlenstoffbedarfs durch eigene Reststoffe decken kann, während der Großteil importiert werden müsste. Die Teilnehmer betonten, dass dies eine fundamentale Herausforderung für die Transformation der Region darstelle. Gleichzeitig wurde aber auch darauf verwiesen, dass bereits bedeutende Investitionen in die Bioökonomie und grüne Chemie stattfinden. So gibt es in Leipzig, Leuna und Zöbzig mehrere Großprojekte mit hohen Investitionen in nachhaltige Kohlenstoffkreisläufe, die den Wandel vorantreiben. Trotz dieser Fortschritte besteht jedoch Unsicherheit darüber, wie schnell sich stabile Absatzmärkte für diese neuen Produkte entwickeln werden.

In Bezug auf den Transformationsfortschritt der Unternehmen zeigte sich ein heterogenes Bild. Während einige Unternehmen bereits aktiv in grüne Technologien investieren und ihre Produktionsprozesse umstellen, halten sich andere noch zurück und warten auf klarere wirtschaftliche und regulatorische Rahmenbedingungen. Auffällig ist, dass insbesondere große Unternehmen als Treiber der Transformation agieren, während kleinere Betriebe oft noch in der Evaluationsphase stecken oder nicht über die nötigen Ressourcen für weitreichende Umstellungen verfügen.

Ein weiterer Diskussionspunkt war die Notwendigkeit einer detaillierten Bilanzierung von Kohlenstoffströmen und deren Klimawirkung. Zwar wurde im Rahmen der Studie ein Modell zur Systembetrachtung der Kohlenstoffwirtschaft entwickelt, jedoch fehlt es bislang an einer umfassenden regionalen Bilanzierung. In diesem Zusammenhang wurde die Notwendigkeit einer regionalen Carbon-Management-Strategie betont, um systematische Ansätze für die Transformation der Industrie im Mitteldeutschen Revier zu entwickeln.

4 Aufbau der Studie

Die Studie besteht aus neun Teilberichten, der Roadmap und einer Zusammenschau.

Die einzelnen Studien sind

1. Die Lage der fossil-basierten Industrie im Mitteldeutschen Revier, Arvid Friebe
2. Übersicht einer zukunftsfähigen Kohlenstoffwirtschaft auf Basis eines Klimaneutralitätsszenarios, Dr. Valentin Espert und Christoph Zeiss, Wuppertal Institut
3. Einordnung von Kohlenstoffströmen hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit, Christoph Zeiss, Wuppertal Institut
4. Akzeptanzfragen der Kohlenstoffwirtschaft, Nora Weber und Christoph Zeiss, Wuppertal Institut
5. Perspektiven der Kreislaufwirtschaft im Kontext einer Kohlenstoffwirtschaft, Dr. Jan Bitter-Krahe, Maximilian Hoffmann und Christoph Zeiss, Wuppertal Institut
6. Die petrochemische Industrie in Mitteldeutschland, Alexander Scholz, Wuppertal Institut
7. Zentrale Aspekte einer aktorsbasierten Diskussion und Umsetzung einer klimaneutralen Koh-

lenstoffwirtschaft, Christoph Zeiss, Wuppertal Institut

8. Übersicht aktuelle politische Prozesse zur Kohlenstoffwirtschaft, Dr. Valentin Espert und Lea Pattberg, Wuppertal Institut
9. Kohlenstoffwirtschaft im Wandel: Strategien für Klimaneutralität im Mitteldeutschen Revier, Christoph Zeiss, Wuppertal Institut

5 Die Teilberichte der Studie

5.1 Die Lage der fossil-basierten Industrie im Mitteldeutschen Revier

Der Bericht „Die Lage der fossil-basierten Industrie im Mitteldeutschen Revier“ von Arvid Friebe zeigt die Verteilung und die Vernetzung der fossil basierten Industrie im Mitteldeutschen Revier auf und untersucht die Herausforderungen der einzelnen Branchen und Unternehmen, auch mittels Interviews.

Die „kohlenstoffbasierte Industrie“ im Mitteldeutschen Revier

Der Abbau der Braunkohle bescherte dem Mitteldeutschen Revier einen beispiellosen wirtschaftlichen Aufschwung – von hier aus wurde Anfang des 20. Jahrhunderts ganz Deutschland mit Chemikalien und Elektrizität versorgt. Ab den 1960er Jahren ersetzte zunehmend über Pipelines herangeführtes Erdöl die „Kohlechemie“, was zur Entwicklung eines reichen Mikrokosmos an Industrieunternehmen und Dienstleistungsbetrieben beitrug. Aus Wertschöpfungsketten wurden Wertschöpfungsnetze. Nach wirtschaftlich schwierigen Jahren infolge der deutsch-deutschen Wiedervereinigung hat sich die mitteldeutsche Chemieindustrie inzwischen wieder als wichtiger Wirtschaftsmotor Gesamtdeutschlands etabliert. In Sachsen-Anhalt stellte sie im Jahr 2022 mit 11 Mrd. Euro Umsatz und knapp 10.400 Beschäftigten den bedeutendsten Wirtschaftszweig dar. Die Chemieunternehmen im Bundesland Sachsen erwirtschafteten 2022 einen Gesamtumsatz von knapp 5 Mrd. Euro und beschäftigten etwa 8.300 Männer und Frauen; dort rangiert die Branche immerhin noch unter den zehn umsatzstärksten Branchen. In Thüringen spielte die Chemieindustrie auch 2022 mit einem Gesamtumsatz von 1,5 Mrd. Euro und rund 4.500 Beschäftigten nur eine eher untergeordnete Rolle.

Die zweite Transformation, die der mitteldeutschen Chemieindustrie nun bevorsteht – Mitte des 20. Jahrhunderts von Braunkohle auf Erdöl und Erdgas, heute von Erdöl und Erdgas auf postfossile Kohlenstoffressourcen – stellt nicht nur die Unternehmen vor große Herausforderungen, sondern auch die Gesellschaft, mindestens im regionalen Kontext.

Die Branchen der „kohlenstoffbasierten Industrie“ im Einzelnen

Zur „kohlenstoffbasierten Industrie“ werden im Rahmen der Basisstudie alle Unternehmen gezählt, die Kohlenstoffverbindungen bereitstellen, verarbeiten oder verbrennen, welche aus fossilen Quellen stammen, also aus Kohle, Erdöl oder Erdgas – ganz gleich, an welcher Stelle sie in der Wertschöpfungskette stehen. Dies ist die kohlenstoffbasierte Industrie im engeren Sinne. Im weiteren Sinne sind die einschlägig von dieser Industrie abhängigen Dienstleister hinzuzurechnen, also Transporteure, Großhändler, Ingenieurbüros, Forschungsorganisationen. Die Untersuchungsregion ist durch die Definition des Investitionsgesetzes Kohleregionen InvKG legal abgegrenzt und wurde im

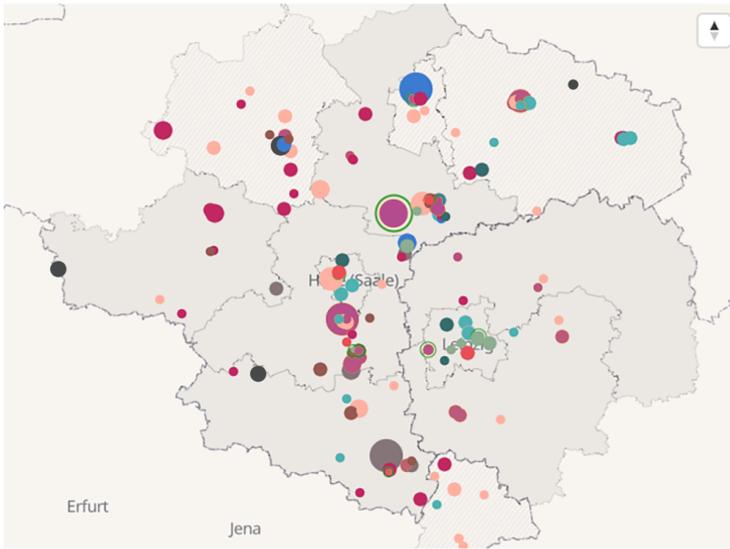
Rahmen der Untersuchung um die Stadt Dessau-Roßlau sowie die Landkreise Salzlandkreis, Wittenberg und Altenburger Land ergänzt.

In der so definierten Untersuchungsregion waren im Jahr 2022 laut einer Sonderauswertung¹ des Statistischen Landesamtes Sachsen-Anhalt 6.402 Betriebe gemeldet, davon 3.038 im sächsischen und 2.192 im sachsen-anhaltischen Teil des Mitteldeutschen Reviers sowie 1.172 im ergänzenden Untersuchungsgebiet. Die amtliche Statistik erlaubt aufgrund von Geheimhaltungsinteressen der Unternehmen keine hinreichend genauen Aussagen zu den Beschäftigten. Jedoch lässt sich schlussfolgern, dass im sachsen-anhaltischen Teil des Reviers etwa doppelt so viele Beschäftigte in der kohlenstoffbasierten Industrie tätig waren (und sind) als im sächsischen Teil des Reviers, und etwa dreimal so viele wie in den ergänzenden Untersuchungsgebieten. Während sich im urbanen Ballungsraum um Leipzig eine hohe Zahl an kohlenstoffbasierten Betriebseinheiten zählen lässt, stehen besonders die Landkreise Anhalt-Bitterfeld und Saalekreis mit hohen Beschäftigungszahlen hervor – sie sind die Standorte der landschaftsprägenden Chemieparks.

Im zeitlichen Vergleich zeigt sich, dass die Zahl der Betriebe in allen untersuchten Städten und Landkreisen zwischen 2019 und 2022 zurückging – im sächsischen Teil des Reviers etwas weniger als im sachsen-anhaltischen, aber ganz gravierend, nämlich rund 10 Prozent, in den Randgebieten des Reviers. Während innerhalb des Mitteldeutschen Reviers die Zahl der Beschäftigten gleich geblieben zu sein scheint – das deutet auf eine Konsolidierung des Unternehmensbesatzes während der „Corona-Zeit“ hin –, scheint sie in den ergänzenden Untersuchungsgebieten am Rande des Reviers ebenfalls um 10 Prozent zurückgegangen zu sein. Mithin lässt sich schlussfolgern, dass die Corona-Krise im Mitteldeutschen Revier zu keinem Rückgang der Beschäftigten in der kohlenstoffbasierten Industrie geführt hat. Jedoch ist die Zahl der Unternehmen an sich geschrumpft. Die kohlenstoffbasierte Industrie konsolidiert sich also.

1 Vollerhebung aller gemeldeten Einheiten.

Unternehmen der fossilbasierten Industrie im Mitteldeutschen Revier Gesamtübersicht



- Herstellung von chemischen Erzeugnissen
- Braunkohlebergbau/Mineralölverarbeitung
- Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen
- Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren
- Herstellung von Zement, Kalk und gebranntem Gips
- Metallerzeugung und -bearbeitung
- Rückgewinnung
- Großhandel, Transport, Lagerei
- Architektur- und Ingenieurbüros; techn., phys. u. chem. Unters.
- Forschung und Entwicklung
- Technologie- und Gründerzentren
- Bioökonomie

(c) Arvid Friebe, 2025

Quelle: eigene Recherche basierend auf IHK Halle-Dessau und Unternehmensregister

Abb 1: Lage der Unternehmen der fossil basierten Industrie mit mehr als 50 Beschäftigten im Mitteldeutschen Revier

Aus der Zeit des **Braunkohlebergbaus** sind lediglich zwei Betriebe auf unsere heutige Zeit überkommen: die MIBRAG Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mit Sitz in Zeitz und die ROMONTA Holding mit Sitz in Teutschenthal. Seit den 1970er Jahren sind die Mineralölverarbeitungs-Standorte Böhlen und Leuna (bis 1996 auch Zeitz) an die Erdölleitung „Freundschaft“ angeschlossen, die bis zu ihrer Schließung Ende 2022 – im Februar des Jahres hatte die russische Invasion in die Ukraine begonnen – noch knapp 17 Mio. t Rohöl nach Deutschland pumpt. Die mitteldeutsche Erdölraffinerie von TotalEnergies in Schkopau ist mit ihren mehr als 700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern mithin heute nicht nur ein wichtiger Wirtschaftsfaktor im Bundesland Sachsen-Anhalt, sondern das, was im 20. Jahrhundert die Braunkohlentagebaue des Mitteldeutschen Reviers waren: der Anfang einer volkswirtschaftlich bedeutenden Wertschöpfungskette. Kraftstoffe sowie Flüssiggas und Heizöl, Naphta und Bitumen, aber auch Methanol und Schwefelwasserstoff gehen von hier aus in die Region und darüber hinaus.

Diese Rohstoffe werden von der umliegenden **Chemieindustrie** weiterverarbeitet. Im Untersuchungsgebiet wurden 43 Unternehmen mit mehr als 50 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern identifiziert, die der Chemieindustrie zuzurechnen sind. Davon liegen 35 im sachsen-anhaltischen und 7 im sächsischen Teil des Reviers, keines im thüringischen. In der Chemieindustrie des sachsen-anhaltischen Teils des Untersuchungsgebiets dürften demnach ca. 7.500 Menschen Beschäftigung finden, im sächsischen Teil rund 1.500. Als Flaggschiffe der Chemieindustrie im Mitteldeutschen Revier lassen sich die Werke des US-amerikanischen Chemiegiganten Dow Chemical bezeichnen: Sie nehmen nach Zahl der Beschäftigten, Umsatz und Stellung am Beginn der chemischen Wertschöpfungskette eine Schlüsselrolle ein. Etwa ein Viertel aller Beschäftigten und etwa ein Fünftel des Branchenumsatzes der Chemieindustrie im Revier entfallen auf die Dow-Verbundstandorte. In Schkopau und Leuna werden die in der benachbarten Erdölraffinerie gewonnenen bzw. per Pipeline vom Schwesterstandort Stade herangeführten Kohlenwasserstoffe zu Polyethylen (PE), Polyethylenterephthalat (PET), aber auch Dichlorethan, Vinylchlorid, Salzsäure und Natronlauge weiterverarbeitet. Im Werk

Böhlen entstehen wichtige kohlenstoffbasierte Basismaterialien für Bauschäume. An die Weiterverarbeitung der in der benachbarten Mineralölraffinerie gewonnenen Basischemikalien schließen sich bedeutende Chemiebetriebe an: die belgische Unternehmensgruppe Domo, Leuna-Harze sowie die US-amerikanischen Unternehmensgruppen Vantage, Innospec und Trinseo, um nur die größten zu nennen. In Leuna befindet sich auch das größte Gasezentrum des inzwischen amerikanisch-deutschen Aktienkonzerns Linde. Linde produziert dort neben Wasserstoff weitere sogenannte technische Gase wie Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Spezialgase wie Argon und Krypton. In einer anderen Anlage scheidet Linde aus der Luft Sauerstoff ab und überführt ihn per Druckleitung an den benachbarten Standort Schkopau oder füllt ihn in verflüssigter Form zum Transport ab. Das Produktionsvolumen beträgt um die 35.000 Normkubikmeter pro Stunde. In derselben Anlage gewinnt Linde ebenfalls aus der Luft Stickstoff; das stündliche Produktionsvolumen dürfte bei 140.000 Normkubikmeter liegen. Der Stickstoff wird per Pipeline an die Standorte Schkopau, Bitterfeld und Piesteritz verbracht. In Piesteritz wiederum verwendet das Unternehmen SKW den Stickstoff zur Herstellung von Ammoniak, Harnstoff und Salpetersäure sowie weiteren Spezialitäten wie AdBlue und Dünger. Das Unternehmen ist mit einem Erdgasverbrauch von 1,2 Mrd. Kubikmeter im Jahr nicht nur größter industrieller Erdgas-Einzelverbraucher in Deutschland; das Unternehmen kann für sich ebenfalls in Anspruch nehmen, Deutschlands größter Hersteller von Ammoniak zu sein. Im Chemiapark Bitterfeld-Wolfen nimmt auch heute noch, im Gegensatz zu Leuna, die anorganische Chemie einen bedeutenden Platz ein. Die Produktion organischer, also kohlenwasserstoffbasierter Moleküle erfolgt hier auf Basis von Erdgas (Methan).

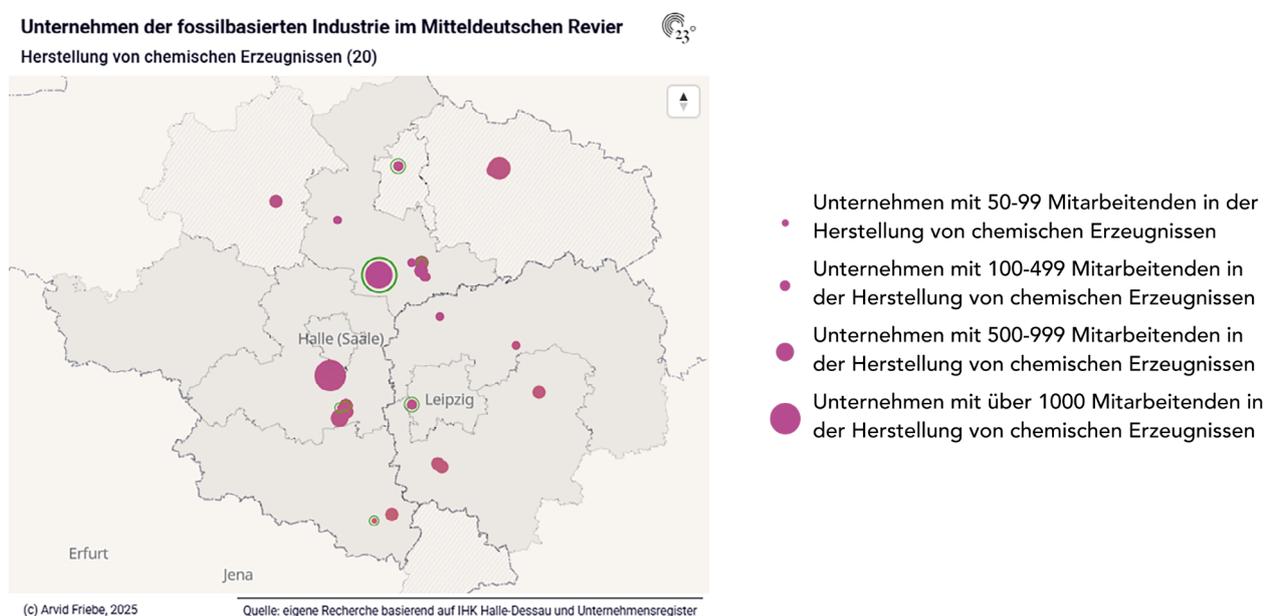


Abb. 2: Lage der Unternehmen der Chemieindustrie im Mitteldeutschen Revier

Was für die Chemieindustrie im Mitteldeutschen Revier bezüglich der Unternehmensgrößen gilt, gilt auch für die **Pharmaindustrie**: Die großen Unternehmen der Branche haben ihren Sitz in Sachsen-Anhalt: 11 Pharmaunternehmen mit mehr als 50 Beschäftigten zählte das Statistische Landesamt im Jahr 2022 im ganzen Bundesland, sie beschäftigten fast 5.100 Männer und Frauen und erwirtschafteten mehr als 2 Mrd. Euro Umsatz. In Sachsen waren es mehr Unternehmen (26), jedoch weniger Beschäftigte (knapp 3.900) mit 1 Mrd. Euro Umsatz, in Thüringen 15 Betriebe mit knapp 1.800 Be-

schäftigten und 360 Mio. Euro Umsatz. Sechs Unternehmen dieser Branche sind in der Untersuchungsregion ansässig, sämtlich auf dem Territorium des Landes Sachsen-Anhalt.

Konzentriert sich die Chemieindustrie stark auf das sogenannte Chemiedreieck vornehmlich im Bundesland Sachsen-Anhalt, so ‚streut‘ die **kunststoffverarbeitende Industrie** weiter ins Umland. Das ist nicht verwunderlich, da die Kunststoffverarbeiter weniger als ihre ‚Vorlieger‘ aus der Chemieindustrie auf ein professionelles Bündel an Infrastrukturleistungen angewiesen sind. 2022 waren laut den Erhebungen der Statistischen Landesämter in Sachsen-Anhalt 98 Betriebe mit mehr als 50 Beschäftigten gemeldet, in Sachsen 165 und in Thüringen sogar 177. Im Untersuchungsgebiet konnten 30 Unternehmen dieser Branche identifiziert werden. Die Herstellung zweier Produktgruppen ist vorherrschend: die Produktion von Folien (für Verpackungszwecke) und die Herstellung von Bauelementen (Fenster, Türen und Automobilausstattung).

Mittelbar der „kohlenstoffbasierten Industrie“ zuzurechnen sind die **Zementhersteller** und die **metallerzeugenden Betriebe**. Die Hersteller von Zement, Kalk und gebranntem Gips sind zwar nicht unmittelbar in die Wertschöpfungskette der „kohlenstoffbasierten Industrie“ eingebunden. Dennoch nehmen sie einerseits einige Reststoffe aus der Mineralölerzeugung und der Chemieindustrie für eigene Produktionszwecke auf und setzen produktionsbedingt im Rohstoff gebundenes Kohlendioxid frei.

Auch die metallerzeugende Industrie gehört zu den energieintensiven Wirtschaftszweigen, und sie ist in allen drei mitteldeutschen Bundesländern von Bedeutung. In Thüringen zählte das Statistische Landesamt 2022: 130 Unternehmen mit mehr als 9.000 Beschäftigten, in Sachsen 59 Unternehmen mit mehr als 10.000 Beschäftigten und in Sachsen-Anhalt 41 Unternehmen mit mehr als 7.000 Beschäftigten. Auffällig ist, dass die thüringischen Betriebe deutlich mittelständischer geprägt sind und im Durchschnitt nicht einmal halb so viele Mitarbeiter zählen wie ihre Pendants in Sachsen und Sachsen-Anhalt. Im Untersuchungsgebiet konnten 25 Unternehmen der metallerzeugenden Industrie mit mehr als 50 Beschäftigten identifiziert werden. Verbreitet sind vor allem Hersteller von Eisen- und Stahl- sowie von Leicht- und Buntmetallprodukten.

Die Betriebe der **Rückgewinnung** und des **Recyclings** werden auf dem Weg der ‚Defossilisierung‘ eine wichtige Rolle spielen. Wenn es gelingt, einen großen Teil des fossil-basierten Kohlenstoffes in einem ‚ewigen‘ Zyklus zu halten, kann er nicht in die Atmosphäre gelangen. Im Untersuchungsgebiet sind einige bedeutende Unternehmen des Kunststoffrecyclings vertreten. Es konnten 13 Betriebe der Rückgewinnung und des Recyclings identifiziert werden.

Zum ‚Ökosystem‘ der fossilbasierten Industrien gehören last but not least der **Chemikalien- und Pharmazeutikahandel** sowie das **Transportgewerbe**. Die Branche ist sehr heterogen, was die Größe der Unternehmen angeht, und sie orientiert sich stark an exzellenten logistischen Gegebenheiten. ‚Land-locked-sites‘, also Hinterlandstandorte ohne wesentliche Wasserstraßenanbindung wie das Mitteldeutsche Revier haben es daher schwerer, der fachspezifischen Logistikbranche gute Standortargumente zu liefern. Immerhin aber liegen im Mitteldeutschen Revier die großen Erzeugungsstätten nicht weit von der Doppelmetropole Leipzig-Halle (inkl. Flughafen) entfernt. Mittels der Auswertung verschiedener Unternehmensdatenbanken konnten im Mitteldeutschen Revier 17 Unternehmen mit mehr als 50 Beschäftigten im Segment des chemie-spezifischen Großhandels und Transportgewerbes identifiziert werden.

Wichtige Dienstleister für den Bau, den Betrieb und die Modernisierung industrieller Anlagen sind Ingenieurbüros. Typischerweise zählt der Beruf des Ingenieurs zu den freien Berufen, weshalb **Ingenieurbüros** selten die Gestalt größerer Unternehmen annehmen. Die **Biotechnologie** bringt Erkenntnisse aus Mikro-, Molekular- und Biochemie mit dem Erfahrungsschatz der Ingenieurwissenschaften und der Verfahrenstechnik zusammen. Die so generierten Produkte und Verfahren finden Anwendung in der Medizin, der Landwirtschaft und der Industrie. Diesen Unternehmen bieten die **Forschungs- und Entwicklungspartner** wertvolle Dienste, die überwiegend in der Stadt Leipzig ‚clustern‘, und nur zu geringerem Teil in der Stadt Halle oder den Chemieparcs des Mitteldeutschen Reviers: das Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse mit Sitz am Chemiestandort Leuna, das Deutsche Biomasseforschungszentrum mit Sitz in Leipzig, das Kunststoffzentrum Leipzig als Partner für anwendungsnahe kunststofftechnische Fragestellungen oder die Leipziger MFPA als Partner für die Zulassung kunststoffbasierter Bauelemente.

Technologie- und Gründerzentren (TGZs) sollen technologieorientierte, möglichst innovative Unternehmensneugründungen und Jungunternehmen bei ihrem Wachstum helfen. Sie sind ein Instrument der Wirtschaftsförderung und können in Phasen wirtschaftlicher Transformation unterstützen. Im Mitteldeutschen Revier sind vier größere TGZs ansässig: die Bio City Leipzig, das Technologie- und Gründerzentrum Halle (Saale), das Technologie- und Gründerzentrum Bitterfeld-Wolfen TGZ sowie das Merseburger Innovations- und Technologiezentrum (MITZ). Die Auslastung wird von allen vier Einrichtungen als gut beschrieben. Für die regionale Entwicklung neuer Technologien und die Skalierung junger Unternehmen ist sicher auch die 2019 in Leipzig gegründete Bundesagentur für Sprunginnovationen (SPRIN-D) von großem Interesse.

Auf die Frage nach den tatsächlichen (energie- und prozessbedingten) **Kohlenstoffdioxid-Emissionen** gibt es keine exakte Antwort. Aus der amtlichen Statistik wissen wir, dass das „verarbeitende Gewerbe“ (d. h. die ‚Industrie‘) in den drei Bundesländern Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen 2021 knapp 24,8 Mio. t CO₂ emittierte, das sind etwa 38 Prozent der gesamten CO₂-Emissionen der drei Länder. Immerhin lässt sich aus dem Europäischen Emissionshandelssystem EUTL erkennen, wie hoch diejenigen CO₂-Emissionen der hiesigen Industrie waren, die überwiegend bei der Energieerzeugung entstanden. Demnach emittierten die meldepflichtigen Industrieunternehmen des Mitteldeutschen Reviers im Jahr 2022 insgesamt knapp 8,1 Mio. t CO₂, mithin knapp 1/3 der gesamten industriellen CO₂-Emissionen der drei mitteldeutschen Bundesländer. Jeweils etwa ein Viertel davon entfielen auf die Mineralölraffinerie von TotalEnergies und auf SKW Piesteritz. Allein die fünf größten Emittenten vereinten 80 Prozent der gemäß EUTL gemeldeten Emissionen auf sich. Unter ihnen befinden sich mit der TotalEnergies-Raffinerie und dem Dow-Olefinverbund zwei regionalwirtschaftlich extrem bedeutende Unternehmen und mit SKW Piesteritz sogar ein deutschlandweit strukturbestimmendes Unternehmen. Das zeigt deutlich auf, welche wirtschaftsstrukturelle Bedeutung in der Frage der ‚Defossilisierung‘ der hiesigen Industrie steckt: Finden diese Unternehmen keinen Entwicklungspfad hinsichtlich ihrer ‚Defossilisierung‘ und stellen sie den Betrieb ein, drohen nicht nur regionale Wertschöpfungsketten zu zerbrechen, sondern auch nationale und europäische.

Einzelperspektive von Unternehmen

Ergänzend zur Erhebung statistischer Daten und zur Auswertung von Unternehmens-Datenbanken wurden Vertreter von 12 Unternehmen im Mitteldeutschen Revier um Interviews gebeten. Als Quintessenz lässt sich aus den Experteninterviews schlussfolgern, dass die Betroffenheit gerade auch der regionalen fossil-basierten Industrie vom derzeitigen Energiepreinsniveau und den Störungen in der regionalen Lieferkette schon jetzt enorm ist. Ein Gesprächspartner berichtete infolgedessen

von 30-40 Prozent Produktionsrückgang. Die damit einhergehenden Umsatzeinbußen erschweren wiederum die Finanzierung von Ausweidlösungen.

In kleinen und mittleren Unternehmen ist auffällig, dass die Strategiebildung eher ad-hoc, intuitiv und personenzentriert erfolgt. Der Vertreter eines kleinen Unternehmens schilderte, transformationsbezogene Projektideen würden von ihm, dem Geschäftsführer, dem Technischen Leiter und ggf. einem externen Berater besprochen. ‚Transformationsteams‘ sind in kleinen und mittelgroßen Betrieben eher selten anzutreffen. Größere Unternehmen scheinen sich überwiegend durch die Installation eines ‚Senior Experten‘ zu behelfen. Nur eine geringe Zahl an Unternehmen scheint über ein regelrechtes ‚Transformationsteam‘ zu verfügen. Demgegenüber berichtete die Vertreterin eines großen Versorgers von einem klar strukturierten, in eine Matrix-Organisation eingebetteten Transformationsteam, das Projektideen in Feedback-Schleifen sowohl top-down als auch bottom-up in den jeweiligen Organisationseinheiten intern und extern bewerten und schärfen lasse.

Die Unternehmen, dies ergibt sich aus den ausgewerteten Interviews, konzentrieren sich zunächst auf den Ersatz fossil-basierter Energieträger. Hinsichtlich der Entwicklung neuer Produkte scheiden sich die Unternehmen (Interviewpartner) grob in zwei Lager: Eine Gruppe von Unternehmen scheint visionär sehr weit fortgeschritten; da das Hauptprodukt offenbar die Bedingungen der ökologischen Nachhaltigkeit erfüllt, schauen diese Unternehmen auf die kommerzielle Verwertung produktiver Nebenströme. Die andere Gruppe von Unternehmen ist der Transformation gegenüber nicht unaufgeschlossen, aber ihr Tempo ist geringer. Sie nehmen ihre Umwelt in Bezug auf die Loslösung von den fossil-basierten Rohstoffen als mit Hindernissen und von Hürden umstellt wahr.

Als Ökosystem, in dem transformative Projekte kreiern, reflektiert und umgesetzt werden können, pflegen fast alle Interviewpartner Netzwerke. Ob hierbei lokale, regionale, nationale oder internationale Netzwerke stärker angesprochen werden, variiert von Branche zu Branche und von Größe zu Größe. Lokale und regionale Netzwerke scheinen den Aussagen zufolge eher umsetzungsorientierten Nutzen zu stiften, während nationale und internationale Netzwerke offenbar eher gepflegt werden, um Strategien zu bilden. Ein organisierter, regelhafter Austausch findet nur selten statt – schon gar nicht, so wurde kritisiert, kontinuierlich und im fachlichen Detail mit der regionalen Politik.

Nahezu alle befragten Unternehmensvertreter zeigten sich in den Interviews hochgradig verunsichert über die erratische Energiepolitik der vergangenen Dekade und wünschen sich mehr Stabilität als strukturbestimmendes Element sowie eine klare Fokussierung auf die Reduktion des CO₂-Ausstoßes als substanzielle Zielrichtung. Die überwiegende Zahl der Interviewpartner prognostiziert, auf die Sicht von fünf bis zehn Jahren, CO₂-freie oder zumindest CO₂-reduzierte Produkte anbieten zu können – wenn auch in unterschiedlich starker Ausprägung. Der Vertreter eines Großunternehmens dazu: „Technisch ist mehr mach- aber nicht finanzierbar, sodass die Kunden am Ende mit 80-90%igen biogenen Produkten zufrieden sind.“

Pioniere und Infrastrukturen

Die Bioökonomie kann für sich in Anspruch nehmen, eine Schlüsselrolle in der Transformation bestehender Industriezweige hin zu einer klimaneutralen Wirtschaft im mitteldeutschen Kohlerevier einzunehmen. Gerade das Mitteldeutsche Revier bringt mit der Kombination von starker Landwirtschaft und leistungsfähigen Chemieparks beste Standortvoraussetzungen mit.

Die chemische Verarbeitung landwirtschaftlicher Rohstoffe entwickelte sich auch in Mitteldeutsch-

land zunächst aus der Nahrungsmittelproduktion heraus. Die neue Generation bioökonomischer Werke entwickelte sich aus der Biokraftstoffproduktion heraus. Den Herstellern von Bioethanol und Biodiesel sowie Bioglycerin kommt eine Vorreiterrolle auf dem Weg zu einer umfassend angelegten chemischen Verarbeitung biogener Rohstoffe zu. Der Biodieselhersteller Verbio entwickelte sich vom grünen Pionier zum inzwischen börsennotierten Unternehmen. Mit knapp 1.200 Beschäftigten zählt das Unternehmen auch zu den 100 beschäftigungsstärksten im Bundesland Sachsen-Anhalt. Diese Erfolgsgeschichte ist umso erstaunlicher, wenn man bedenkt, dass die erste Produktionsanlage des Unternehmens vor weniger als 25 Jahren in Zörbig in Betrieb ging.

Wichtige Stützen der vergleichsweise jungen Bioökonomie sind die großen Forschungszentren in Leipzig und Leuna, das Deutsche Biomasseforschungszentrum (DBFZ) und das Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse (CBP). Während sich das DBFZ überwiegend auf die anwendungsbezogene Grundlagen- und Makroforchung in Bezug auf Biomasse konzentriert, steht der regionalen Industrie mit dem CBP ein modular einsetzbarer Reaktor- und Technikumsanlagenpark zur Verfügung, sowie fachspezifisches Knowhow, um chemisch-biotechnologische Verfahren, Produkte und Anlagen bis zur Einsatz- und Marktreife zu entwickeln, zu realisieren und zu optimieren. Wichtige Ergänzungen dieser spezifischen Forschungsinfrastruktur werden das ‚Center for the Transformation of Chemistry‘ (CTC) in Delitzsch und Merseburg sowie das für den Chemiestandort Leuna im Gespräch befindliche Großtechnikum ‚BioEconomy Hub‘ sein.

Fazit und Handlungsempfehlungen

Treiber der Defossilisierung sind im Mitteldeutschen Revier derzeit eher Großunternehmen, die zwar über langwierige interne Planungs- und Genehmigungsprozesse verfügen mögen, aber mit entsprechender Kapitalausstattung einmal getroffene Entscheidungen kraftvoll umsetzen können. Der potenziell kreativere und wendigere Mittelstand ist derzeit (noch) nicht als treibende Kraft der Defossilisierung wahrnehmbar, zumindest nicht im Mitteldeutschen Revier. Dies mag an mangelnder Kapital- und Humankapitalausstattung liegen: Die auf Zulieferung und Lohnfertigung ausgerichteten mittelständischen Betriebe sind mit der Fülle an Aufgaben, der Größe der anstehenden Investitionen und der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit überfordert.

Daher bedarf es aufgrund der Vielzahl kleiner und mittlerer (Produktions-) Betriebe in einer so strukturbestimmenden Industrie wie der chemisch-pharmazeutischen im Mitteldeutschen Revier einer regionalen Carbon-[Transformations-]Management-Strategie als schriftlich verfasste Grundvereinbarung möglichst vieler betroffener Akteure, v. a. der Unternehmen, der regionalen Unternehmensfachverbände als auch der regionalen Politik in ihrer Eigenschaft als Verwaltungsspitzen.

Da die überwiegende Zahl der Betriebe der kohlenstoffbasierten Industrie des Mitteldeutschen Reviers auf sachsen-anhaltischem Territorium liegt, sollte eine solche Strategie von der Landesregierung Sachsen-Anhalt initiiert werden und unter ihrer Federführung entstehen. Die Landesregierungen Sachsens und Thüringens sollten eingeladen werden, den Strategieprozess intensiv und ernsthaft zu begleiten. Die regionalen Unternehmens-Fachverbände der betroffenen Industrien sollten mit aktiver Rolle in den Strategiebildungsprozess eingebunden werden.

Den so verfassten strategischen Zielen sollte ein regelmäßiger Konsultationsprozess, sozusagen ein „Carbon-Management-Trilog“, folgen, mglw. mit wechselnder regionaler Schirmherrschaft, um einen regelmäßigen Austausch aller Beteiligten und Betroffenen aus Wirtschaft, Politik, Gesellschaft zu gewährleisten, gegenseitiges Verständnis zu entwickeln, Wissen zu erweitern und Konflikte vorzubeugen bzw. sie zu schlichten, Asynchronismen wo möglich zu glätten und die Sinnhaftigkeit der zuvor formulierten Ziele und Maßnahmen immer wieder den aktuellen Gegebenheiten anpassen zu können, ohne sich von grundlegenden Zielen zu lösen.

5.2 Übersicht einer zukunftsfähigen Kohlenstoffkreislaufwirtschaft auf Basis eines Klimaneutralitätsszenarios

Der Bericht „Übersicht einer zukünftigen Kohlenstoffwirtschaft auf Basis eines Klimaneutralitätsszenarios“ von Valentin Espert und Christoph Zeiss beschäftigt sich mit Klimaneutralitätsszenarien zu Kohlenstoff und hat das Ziel, die Kohlenstoffströme in einem klimaneutralen Zielsystem aus dem Szenario S4C-KN des Forschungsprojektes „SCI4climate.NRW“ darzustellen (SCI4climate.NRW, 2023b). Zudem werden Ergebnisse aus Diskussionen zu alternativen Kohlenstoffströmen und mögliche Einschränkungen des Szenarios mit Akteuren aus dem Zukunftslabor Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft aus dem Projekt IN4climate.RR erläutert.

Klimaneutralitätsszenarien sind in der Regel modellbasierte Zielszenarien, bei denen verschiedene Wege der Zielerreichung aufgezeigt werden. Das dargestellte Szenario S4C-KN des Wuppertal Instituts berücksichtigt energetische als auch stofflich bedingte Kohlenstoffströme in einem klimaneutralen Gesamtsystem.

Abbildung 3 zeigt die Kohlenstoffströme einer zukunftsfähigen Kohlenstoffwirtschaft mit Ergänzungen aus den Diskussionen aus dem Zukunftslabor Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft aus dem Projekt IN4climate.RR. Im Unterschied zu anderen Klimaneutralitätsszenarien werden neben der energetischen auch die stoffliche Ebene einer zukünftigen Kohlenstoffwirtschaft betrachtet und detaillierte Modellierungen der Entwicklung der energieintensiven Grundstoffindustrie vorgenommen. Es wird dabei davon ausgegangen, dass große Teil der Grundstoffindustrie und der industriellen Wertschöpfungsketten in Deutschland erhalten bleiben und es bis zur Mitte des Jahrhunderts zu keiner deutlichen Änderung der Produktionsmengen in der Grundstoffindustrie kommt.

Weitere Annahmen mit Relevanz für eine klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft sind eine zunehmende Bedeutung der Kreislaufwirtschaft, ein möglicher Import klimaneutraler Energieträger und Grundstoffe sowie eine ausreichende gesellschaftliche Akzeptanz für CO₂-Abscheidung und Speicherung für nicht vermeidbare industrielle CO₂-Emissionen (CCS) und den Aufbau eines CO₂-Transportnetzes. Da eine vollständige CO₂-Abscheidung in der Industrie technisch nicht möglich ist, wird in dem S4C-KN Szenario von einer Kompensation der industriellen Restemissionen über negative Emissionen aus dem Einsatz von Bioenergie in Kombination mit CO₂-Abscheidung und Speicherung (BECCS) ausgegangen.

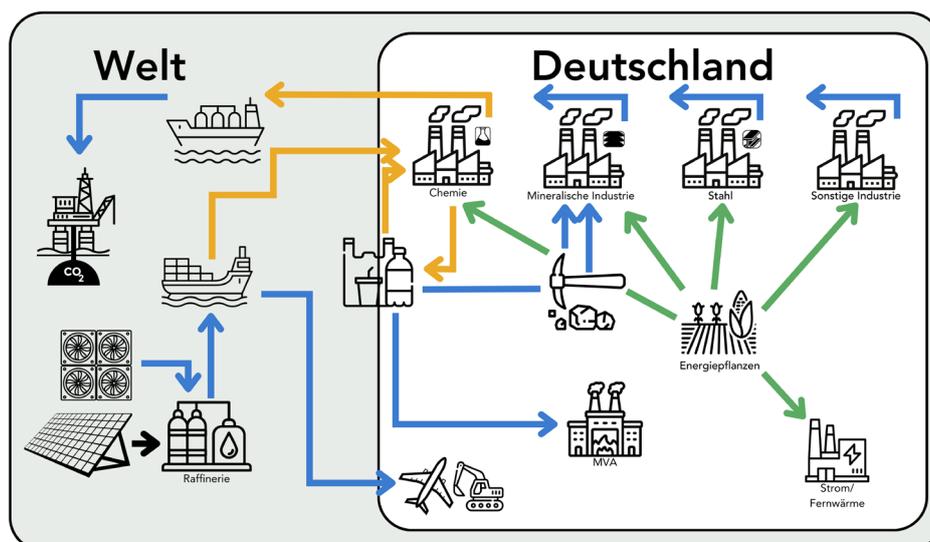


Abb. 3: Übersicht einer zukunfts-fähigen Kohlenstoffwirtschaft auf Basis von Klimaneutralitätsszenarien mit Ergänzung aus dem Zukunftslabor Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft von IN4climate.RR aus Espert und Zeiss (2025)

Im Hinblick auf die Petrochemie und den Raffineriesektor werden neben dem Hauptszenario auch Szenariovarianten betrachtet. Neben der im Hauptszenario getroffenen Annahme eines vollständigen Imports synthetischer grüner Kohlenwasserstoffe bis 2040 handelt es sich um die beiden Raffinerie-Varianten „Fossile Feedstock Raffinerie“ und „grüne Fischer-Tropsch-Raffinerie“. Gemeinsamkeit der drei Varianten ist, dass die in Zukunft deutlich gesunkene Nachfrage nach Kohlenwasserstoffen im Verkehrssektor durch synthetische Kraftstoffe gedeckt wird.

Eine zentrale Annahme im Szenario S4C-KN ist der Import von synthetischen Kraftstoffen und chemischen Grundstoffen auf Basis von Kohlenstoff aus DAC-Anlagen bei gleichzeitiger geologischer Speicherung industrieller CO_2 -Mengen („Import/CCS“). Daneben wird auch der Vergleichsfall betrachtet, bei dem für verbleibende Bedarfe an Kohlenwasserstoffen für Flugzeugtreibstoffe und Kunststoffe inländische industrielle CO_2 Emissionen und importierter Wasserstoff in Kombination mit einer Kompensation über DACCS verwendet werden („ CCU_{CH} /DACCS“). Die beiden Varianten unterscheiden sich zentral in der Ausgestaltung der notwendigen Infrastruktur. Die Variante Import/CCS geht von einer Abscheidung atmosphärischen Kohlenstoffes durch Direct Air Capture (DAC) an Standorten in Ländern aus, an denen erneuerbare Energien günstig und in großer Menge verfügbar sind. Die erzeugten Kohlenwasserstoffe werden nach Deutschland importiert. Die in Deutschland anfallenden prozessbedingten CO_2 -Mengen der Industrie werden abgeschieden und durch ein Pipelinennetz zu einer Speicherstätte verbracht. Die Variante CCU_{CH} /DACCS geht hingegen davon aus, dass DAC-Anlagen direkt an den Speicherstandorten errichtet werden. Notwendig in dieser Variante ist eine Infrastruktur für den CO_2 -Transport von Industrieanlagen zu Standorten der CO_2 -Nutzung und für den Wasserstofftransport nach Deutschland.

In den Diskussionen des Zukunftslabors auf Basis der Szenarienergebnisse von SCI4climate.NRW wurden Aspekte wie die Notwendigkeit einer CO_2 -Infrastruktur über Schienennetze und Pipeline-Anbindungen, die Berücksichtigung von allen nachhaltigen und nicht nur biogenen Kohlenstoffen für CCU, die Senkenfunktion der Forstwirtschaft, biobasierte Produkte und ihren Syntheserouten, Produktionskosten klimafreundlicher Produkte, die Rolle von Regionen und regionaler Wertschöpfung sowie Fragen der Governance diskutiert.

Dieses Kapitel basiert auf dem Teilbericht „Übersicht einer zukünftigen Kohlenstoffwirtschaft auf Basis von Klimaneutralitätsszenarien“ des Wuppertal Instituts von 2025.

5.3 Einordnung von Kohlenstoffströmen hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit

Der Bericht „Einordnung von Kohlenstoffströmen hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit und den Auswirkungen auf die Wertschöpfungspotentiale“ von Christoph Zeiss gibt eine Übersicht über grundlegende Bewertungsaspekte einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft und zeigt Beispiele aus unterschiedlichen Szenario-Strukturen.

Eine klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft beschäftigt sich mit der Bereitstellung, Verarbeitung, Nutzung und Speicherung von Kohlenstoffen zur Herstellung kohlenstoffhaltiger Produkte unter der Grundannahme, dass klimaneutrale Kohlenstoffpfade bilanziell keine zusätzlichen klimawirksamen Kohlenstoffmengen aus der Lithosphäre in die Atmosphäre entlassen. Langfristig soll die Kohlenstoffwirtschaft einen Beitrag dazu leisten, klimawirksamen Kohlenstoff aus der Atmosphäre zu entfernen, um damit dem Treibhausgasereffekt entgegenzuwirken. Teilbereiche der klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft sind die Bioökonomie, die Kreislaufwirtschaft, die Land- und Forstwirtschaft und die kohlenstoffbasierte Chemieindustrie.

Die Bereitstellung von nicht-fossilem Kohlenstoff wird in zukünftigen Wertschöpfungsketten von zentraler Bedeutung sein. Es sind schon heute eine Vielzahl von Quellen denkbar:

- biogene Kohlenstoffe aus der Land- und Forstwirtschaft
- atmosphärischer Kohlenstoff über Direct Air Capture
- die Nutzung bereits verarbeiteten Kohlenstoffs aus der Technosphäre
- prozessbedingte CO₂-Mengen aus der Industrie
- die Bereitstellung von Kohlenstoff durch biotechnologische Methoden

Die Verarbeitung von Kohlenstoffen beinhaltet darüber hinaus eine Vielzahl von Prozess- und Umwandlungstechnologien. Wichtige Branchen für die Verarbeitung von Kohlenstoffen sind die chemische Industrie zur Herstellung von Verpackungskunststoff oder Klebstoff, aber auch die Verarbeitung von Holz im Baubereich und in der Möbelindustrie sowie die Algenindustrie.

Bei der Nutzung von Kohlenstoffen muss im Rahmen der Klimaneutralität die Kreislauffähigkeit mitgedacht werden. Eine langfristige Speicherung von Kohlenstoffen bietet für fossil basierten Kohlenstoff die Möglichkeit einer klimaneutralen Bilanz und für biogene oder atmosphärisch basierten Kohlenstoff die Möglichkeit, negative Emissionen zu realisieren.

Bei einer klimaneutralen Kohlenstoffnutzung ist vorausgesetzt, dass keine zusätzlichen klimawirksamen Kohlenstoffmengen in die Atmosphäre gelangen oder bilanziell durch negative Emissionen ausgeglichen wird. Es gibt eine Vielzahl von Kohlenstoffpfaden und Kreisläufen durch verschiedene Strukturen und Komponenten wie die Lithosphäre, Technosphäre, Atmosphäre und Biosphäre. In dem Bericht werden Kohlenstoffpfade am Beispiel der Kohlenstoffproduktion erläutert. In Abbildung 4 werden vereinfacht die zentralen Kohlenstoffströme einer klimaneutralen Kunststoffproduktion mit biogenem und atmosphärischem Kohlenstoff inkl. CCS-Pfad dargestellt.

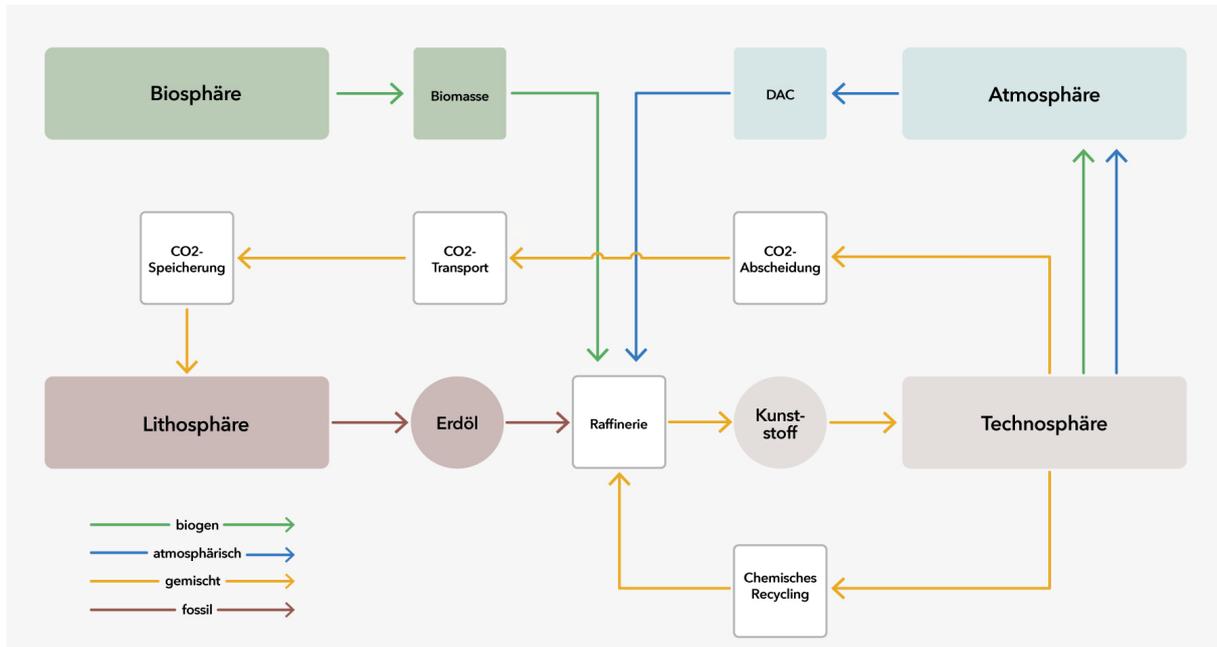


Abb. 4: Vereinfachte Darstellung einer klimaneutralen Kunststoffproduktion mit biogenem und atmosphärischem Kohlenstoff inkl. CCS-Pfad aus Zeiss (2025a)

Zur Bewertung von Kohlenstoffpfaden in einer klimaneutralen Industrie wurden in dem Teilbericht einige grundsätzliche Parameter definiert. Dazu gehört ein genauer Nachweis der Herkunft des Kohlenstoffs, der Lebensdauer der hergestellten Produkte sowie eine Dokumentation der Zusammensetzung und des Verbleibs des Kohlenstoffs.

Zuletzt werden potenzielle Marktakteure bei der Erzeugung von negativen Emissionen (CDR) betrachtet. Nachfrager für negative Emissionszertifikate werden Akteure sein, die in geringen oder größeren Maßen weiter treibhausgaswirksame Gase emittieren. Auf der Seite von Anbietern von negativen Emissionszertifikaten können drei Optionen aufgezeigt werden:

- komplexe, durch Infrastruktur dominierte Anbietersysteme
 - Müllverbrennungsanlagen oder Kalk- und Zementwerke mit Anschluss an das CO₂-Netz, Abscheidungsanlage und Zugriff auf biogenen Hausmüll oder andere biogene Rohstoffe
 - Produzenten langfristiger C-haltiger Produkte wie biobasierter Kunststoffe oder Biokohle
- Technologie- und Logistikanbieter
 - Produzenten und Anbieter von Direct Air Capture und CO₂-Abscheidungstechnologien oder CCU-Technologie
 - Dienstleistungen und Forschung

Dieses Kapitel basiert auf dem Teilbericht Einordnung von Kohlenstoffströmen hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit und deren Auswirkungen auf die Wertschöpfungspotentiale des Wuppertal Instituts von 2025 (Zeiss, 2025a).

5.4 Akzeptanzfragen der Kohlenstoffwirtschaft

In dem „Bericht Akzeptanzfragen der Kohlenstoffwirtschaft“ von Nora Weber und Christoph Zeiss werden Ergebnisse aktueller quantitativer und qualitativer Studien zur Akzeptanz von industriellem CCS vorgestellt und daraus resultierende Empfehlungen für das Mitteldeutsche Revier abgeleitet.

Am Wuppertal Institut wurde in den Projekten Protanz.NRW und IN4climate.RR die Bedeutung des öffentlichen Bewusstseins und der gesellschaftlichen Akzeptanz für die Einführung von Infrastrukturen im Rahmen der Industrietransformation untersucht. Dabei lag der Fokus auf Akzeptanzfragen im Zusammenhang mit CCS-Technologien sowie auf der Entwicklung eines systematischen Ansatzes für Partizipationsprozesse.

Das Projekt Protanz.NRW war am Virtuellen Institut (VI) „Transformation – Energiewende NRW“ angesiedelt und wurde gefördert durch das Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie (MWIKE) des Landes NRW. Beteiligt waren die Bergische Universität Wuppertal, die Hochschule Bochum, die Ruhr-Universität Bochum, die RWTH Aachen und das Wuppertal Institut. Im Projekt untersuchten die Forschenden des Wuppertal Instituts, inwiefern die industrielle Nutzung von CCS in NRW auf gesellschaftliche Akzeptanz stößt.

In den quantitativen Studien aus Protanz.NRW konnte abgeleitet werden, dass den meisten Menschen in NRW industrielles CCS unbekannt ist. 63 Prozent aller Befragten geben an, nichts über industrielles CCS zu wissen. 59,2 Prozent der bereits informierten Befragten gaben an, der industriellen Nutzung von CCS in NRW gegenüber positiv eingestellt zu sein. Lediglich 11,5 Prozent der Befragten gaben eine ablehnende Haltung an. 29,3 Prozent der Befragten gaben an neutral eingestellt zu sein, nicht zu wissen, wie sie zu der Fragestellung stehen oder keine Meinung zu haben.

Inwieweit würden Sie es als positiv oder negativ empfinden, wenn CO₂-Abscheidung und -Speicherung von der Industrie in NRW genutzt würde?

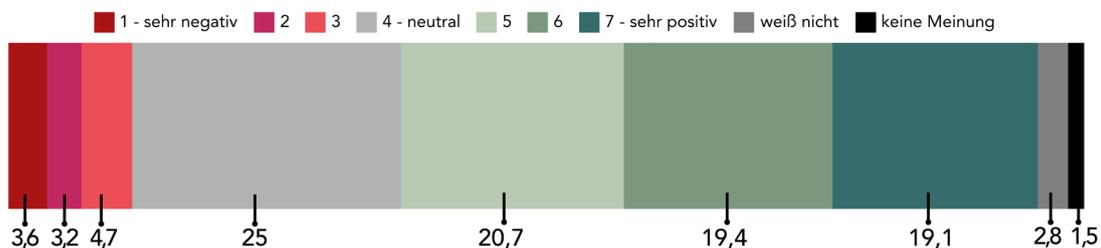


Abb. 5: Akzeptanz der informierten Öffentlichkeit von industriellen CCS in NRW (nach Witte et al., 2023) aus Weber und Zeiss (2025)

In den qualitativen Studien konnten anhand der durchgeführten Einzel- und Gruppeninterviews eine Vielzahl an Herausforderungen identifiziert werden. Als zentrale ökonomische Herausforderungen wurden finanzielle Hürden wie die Notwendigkeit hoher Investitionen und die Herausforderung genannt, im internationalen Wettbewerb zu bestehen. Als zentrale Herausforderungen im Rahmen sozialer Aspekte wurden der Einfluss der vergangenen CCS-Debatte und der Mangel an Wissen in der Gesellschaft über (industrielles) CCS identifiziert.

In Rahmen der Studie PartInKN (Partizipation in der Industrietransformation Klimaneutral) im Rahmen des Projektes IN4climate.RR wurde ein systematisches Vorgehen entwickelt, um frühzeitig den Bedarf an Partizipation und Empowerment in Industrietransformationsprojekten zu ermitteln. Dieses Vorgehen zeigt Abbildung 6: Systematisches Vorgehen zur Ermittlung von Partizipation- und Empowermentbedarfen (Kolde et al., unveröffentlicht) aus Weber und Zeiss (2025).

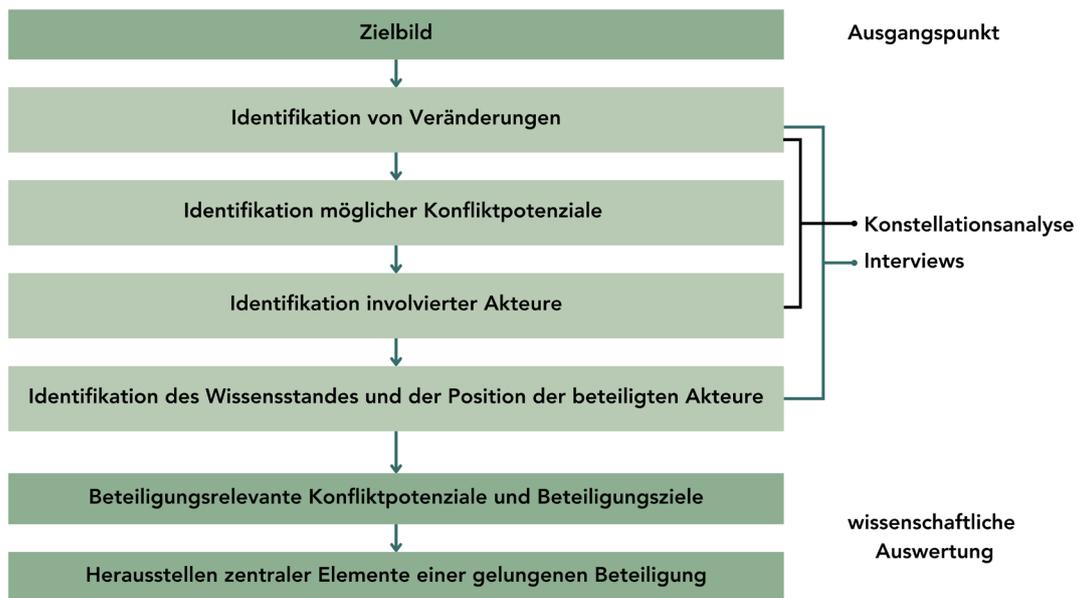


Abb. 6: Systematisches Vorgehen zur Ermittlung von Partizipation- und Empowermentbedarfen (Kolde et al., unveröffentlicht) aus Weber und Zeiss (2025)

Untersucht wurden die Einstellung der organisierten Zivilgesellschaft zur geplanten Errichtung einer CO₂-Pipeline durch das Rheinische Revier. Es wurden dazu Interviews mit Vertreter*innen von lokalen Umweltschutzorganisationen, kirchlichen Einrichtungen und Bürgerinitiativen geführt, die einen räumlichen Bezug zu der geplanten Pipeline haben.

Die Interviewpartner*innen nannten zwei zentrale Konfliktfelder:

- **Lokale Auswirkungen der Pipeline:** Dieses Konfliktfeld umfasst sowohl ökologische als auch soziale Effekte. Es wurde erwartet, dass der Bau der Pipeline in Biotope eingreift und negative Umweltauswirkungen mit sich bringt. Falls die Pipeline auf bestehenden Erdgastrassen verläuft, wurden jedoch geringere ökologische Auswirkungen antizipiert. Sozialer Widerstand, insbesondere durch persönliche Betroffenheit und den NIMBY-Effekt, wurde als potenzielles Problem benannt, wobei nur einzelne Akteur*innen dies nicht als relevanten Konflikt wahrnahmen.
- **Widerstand gegen CCS als Technologie:** Die Pipeline könnte als Symbol für eine allgemeine Ablehnung von CCS wahrgenommen werden, was politisch motivierte Proteste auslösen könnte.

Für das Mitteldeutsche Revier sind trotz der vielfältigen Unterschiede Erkenntnisse aus den vorliegenden Untersuchungen aus Nordrhein-Westfalen übertragbar:

Wissen über die Einstellung der Menschen generieren

Das Mitteldeutsche Revier braucht eigene Daten, wie seine Einwohner*innen den Infrastrukturausbau im Rahmen der Transformation zur Klimaneutralität einschätzen. Aufgrund der sehr unterschiedlichen gesellschaftlichen, geschichtlichen und wirtschaftlichen Hintergründe sind bundesdeutsche oder nord-rheinwestfälische Befragungsergebnisse nur bedingt übertragbar. Es ist zu erwarten, dass der Stellenwert der Industrietransformation im Mitteldeutschen Revier anders ist. In welche Richtung sich diese Veränderung jedoch ausprägt, lässt sich ohne spezifische Daten nur vermuten und entbehrt einer empirischen Grundlage. Daher sollte diese Fragestellung auch Gegenstand weiterer Forschung im Mitteldeutschen Revier sein.

Lokale Akteure kennen und einbinden

Lokale Akteure spielen eine zentrale Rolle bei der Information und Diskussion von Infrastrukturprojekten. Dazu können die organisierte Zivilgesellschaft mit lokalen Umweltgruppen, kirchliche Akteure, lokale Netzbetreiber oder auch die Industrie- und Handelskammern gehören. Eine frühzeitige Identifikation der für das Mitteldeutsche Revier maßgeblichen Akteure ist daher notwendig und sollte zuerst bei denjenigen ansetzen, die während der CCS-Diskussion in den beginnenden 2010er Jahren besonders aktiv waren.

Wissen verbreiten

Eine Diskussion über industrielle Infrastrukturprojekte kann gelingen, wenn die beteiligten Akteure ein ausreichendes Wissen über die technischen und gesellschaftlichen Hintergründe sowie die Notwendigkeiten des Ausbaus haben. Dadurch können Konflikte zwar nicht vollständig vermieden werden, aber sie lassen sich auf konkrete Punkte eingrenzen, bei denen inhaltlich begründete Differenzen bestehen. Daher ist es im Mitteldeutschen Revier sinnvoll und notwendig, die lokalen Akteure und die Bevölkerung über die Rolle des Infrastrukturausbaus von CO₂-Pipelines für die Klimatransformation und die zukünftige Wertschöpfung der lokalen Unternehmen zu informieren.

Aus- und Weiterbildung fördern

Neue Technologien und Transformationen bedürfen auch neuer Fähigkeiten der Mitarbeiter*innen in Unternehmen und Verwaltung. Auch wenn es möglicherweise keine neuen Berufsbilder im Rahmen des Infrastrukturaufbaus für CCS geben wird, werden doch die nötigen Kenntnisse und Fähigkeiten für bestehende Berufe erweitert, sodass diese in Ausbildungsprogramme übernommen werden müssen. Eine aktive Herangehensweise an diese Herausforderungen im Mitteldeutschen Revier zeigt auch vor Ort, dass diese Entwicklung Beschäftigungsperspektiven beinhaltet und Gegenstand von Qualifikationsprogrammen sein kann. Damit wird deutlich gemacht, dass die Menschen im Revier aktiv an der Transformation teilnehmen können.

Dieses Kapitel basiert auf dem Teilbericht Akzeptanzfragen der Kohlenstoffwirtschaft des Wuppertal Instituts von 2025 (Weber & Zeiss, 2025).

5.5 Perspektiven der Kreislaufwirtschaft im Kontext einer Kohlenstoffwirtschaft

Ziel des Berichts „Perspektiven der Kreislaufwirtschaft im Kontext einer Kohlenstoffwirtschaft“ von Dr. Jan Bitter-Krahe, Maximilian Hoffmann und Christoph Zeiss war die konzeptionelle Verknüpfung der beiden Themenfelder Kohlenstoffwirtschaft und Kreislaufwirtschaft anhand einer Literaturanalyse. Ein Großteil der verfügbaren Literatur konzentriert sich auf die technologische und regulative Herausforderung der Skalierung von Technologien der Kohlenstoffabscheidung und -nutzung, ohne jedoch die konzeptionellen, analytischen und systemischen Zusammenhänge zur Kreislaufwirtschaft detailliert zu beleuchten. In der Literatur wird die Zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft (ZKW) meist als Teil einer umfassenden Kreislaufwirtschaft betrachtet, wobei hierbei sowohl übergreifende als auch sektorspezifische Forschung besteht, namentlich in den Bereichen Kraftstoffe, Biomasse, Kunststoffe und Textilien.

Ähnlich wie im bisherigen Forschungsstand zur Kreislaufwirtschaft, begreifen auch Newman et al. (2023) die Etablierung einer nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft als eine Aufgabe, die über technolo-

gische und regulatorische Maßnahmen hinausgeht. Vielmehr bedürfe es neben ökonomischen auch sozio-kulturellen Adaptionen, um Wirtschaft und Gesellschaft so zu transformieren, dass Kohlenstoff nachhaltig verwaltet wird, anstatt unreflektiert konsumiert zu werden. Das Argument baut dabei auf dem Verständnis auf, dass Kohlenstoff eine zu begrenzende Ressource ist, die einer umfassenden Nachvollziehbarkeit und nachhaltigen Handhabung bedarf. Dafür erforderlich sei die Erfüllung dreier Bedingungen: Erstens müssten Kohlenstoffe jenseits fossiler Quellen zugänglich, nutzbar und rezyklierbar sowie in ihrer breiten sozialen, ökonomischen und ökologischen Auswirkung nachverfolgbar sein (Newman et al., 2023). Dafür bedürfe es, zweitens, Technologien, die sowohl die Verfügbarkeit als auch die Verwendbarkeit von Kohlenstoffen als Grundlagen für Produktionsprozesse bereitstellen (Newman et al., 2023). Neben diesen technologischen Änderungen betonen die Autor*innen, drittens, die Rolle von Verhaltensänderungen seitens der Konsument*innen für vollständig geschlossene und nachhaltige Kohlenstoffkreisläufe (Newman et al., 2023). Erkenntnisse zu Synergien und Unterschieden zwischen der Kreislauf- und Kohlenstoffwirtschaft werden anhand der R-Strategien aufgezeigt. Abbildung 7: R-Strategien und ihr Verhältnis zu zirkulären, nachhaltigen Kohlenstoffströmen aus Bitter-Krahe, Hoffmann, Zeiss (2025) zeigt die Verbindung der R-Strategien mit der Kohlenstoffwirtschaft.

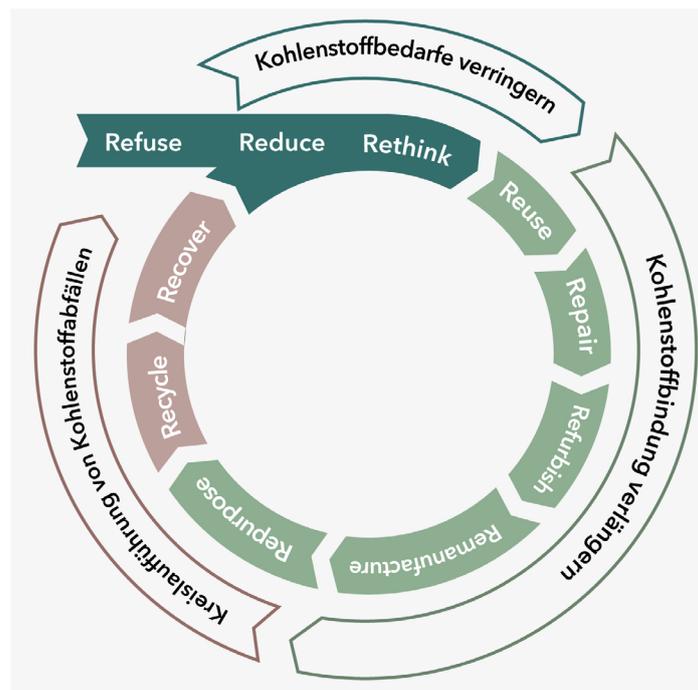


Abb. 7: R-Strategien und ihr Verhältnis zu zirkulären, nachhaltigen Kohlenstoffströmen
Eigene Darstellung nach Bitter-Krahe, Hoffmann und Zeiss (2025)

Eine Stärke des Konzepts der Kreislaufwirtschaft ist die Verfolgung von ökologischen und ökonomischen Zielen u.a. durch den effizienten Umgang mit Stoffströmen. Zirkuläre Geschäftsmodelle sollen dabei unterstützen, Wege für Unternehmen aufzuzeigen, mit Prinzipien der Kreislaufwirtschaft ein Business Case realisiert werden kann.

Für das Mitteldeutsche Revier lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Die ansässige chemische Industrie sollte sich auf die R-Strategien ausrichten und neben der Einführung von biobasierten und atmosphärischen Kohlenstoffen auch die Nutzung von chemischem Recycling und Designs für Mehrweg und Rezyklierbarkeit anstreben

- Im Bausektor ist auf die Nutzungsdauer von Gebäuden zu achten, diese ist durch Sanierungen zu verlängern und beim Neubau ist auf die Verwendung nachwachsender Rohstoffen zu achten
- Weitere wichtige Punkte sind die Entwicklung einer Startup-Strategie für die zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft, die Identifizierung von Wertschöpfungspfaden und Geschäftsmodellinnovationen und das Monitoring kohlenstoffintensiver Stoffströme.

Dieses Kapitel basiert auf dem Teilbericht Perspektiven der Kreislaufwirtschaft im Kontext einer Kohlenstoffwirtschaft des Wuppertal Instituts (Bitter-Krahe et al., 2025).

5.6 Die petrochemische Industrie in Mitteldeutschland

In dem Papier „Die petrochemische Industrie in Mitteldeutschland“ von Alexander Scholz wird die heutige Struktur des chemischen Clusters in Mitteldeutschland analysiert, die stofflichen Synergiebeziehungen abgebildet und die Einbettung in das umgebende nordwesteuropäische Produktionssystem dargestellt. Im Fokus der Arbeit steht der relevante Teilbereich der Polymer-Wertschöpfungskette.

Eine Transformation der heute auf fossilen Rohstoffen basierenden petrochemischen Industrie hin zu einem auf erneuerbaren Rohstoffen basierenden zirkulären System ist von größter Bedeutung für eine klimaneutrale Wirtschaft. Diese Umstellung ist jedoch mit Besonderheiten verbunden, die über die Herausforderungen in anderen Sektoren hinausgehen: Die Produktion von Petrochemikalien nutzt fossile Rohstoffe nicht nur zu energetischen Zwecken, sondern auch als Rohstoff für eine Vielzahl von Prozessen. Darüber hinaus findet die Herstellung von HVC (High-Value-Chemicals) und deren Weiterverarbeitung zu Polymeren größtenteils in hochverdichteten Chemieclustern statt, die durch tief integrierte mehrstufige Produktionswege und heterogene Produktportfolios gekennzeichnet sind. Da jedes dieser Industriecluster einzigartig ist, wird es hier keinen einheitlichen Pfad in Richtung Klimaneutralität geben. Vielmehr müssen die lokalen und historisch gewachsenen Standortfaktoren berücksichtigt werden, damit ein Wandel erfolgreich umgesetzt werden kann. Ein Verständnis dieses Systems und der jeweiligen Merkmale seiner einzelnen Komponenten ist daher eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Transformation hin zur Klimaneutralität.

Vor diesem Hintergrund beleuchtet das vorliegende Papier die heutige Struktur der petrochemischen Industrie in Mitteldeutschland, welche im sogenannten Mitteldeutschen Chemiedreieck ein Cluster aus Produktionsstandorten in Sachsen-Anhalt, Sachsen und Brandenburg bilden. Das Papier zielt darauf ab, die heutige Struktur des Clusters zu analysieren, ihre stofflichen Synergiebeziehungen abzubilden und ihre Einbettung in das umgebende nordwesteuropäische Produktionssystem darzustellen. Der Fokus der Arbeit liegt auf dem relevanten Teilbereich der Polymer-Wertschöpfungskette.

Abbildung 8 zeigt das Mitteldeutsche Chemiedreieck aus den Chemieparks Zeitz, Böhlen, Leuna, Schkopau, Schwarzheide und Bitterfeld-Wolfen. Die Chemieparks positionieren sich in Mitteldeutschland als innovative Wissensstandorte und verstehen sich als Knowledge Sites, die mit anliegenden Forschungseinrichtungen zusammenarbeiten, um Synergien innerhalb des Stoffverbunds optimal nutzen zu können und Innovationen voranzubringen.

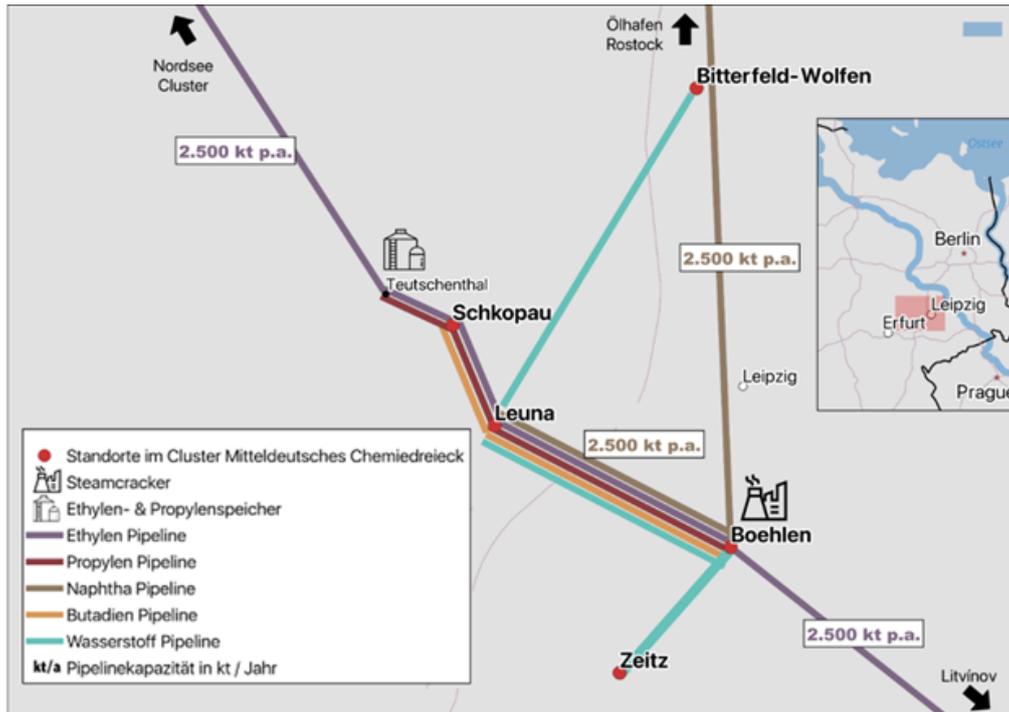


Abb. 8: Überblick über alle relevanten petrochemischen Standorte und Erdölraffinerien in und um Deutschland, inklusive Produktionsvolumen an High-Value-Chemicals und Polymeren sowie infrastruktureller Verflechtungen aus Scholz et al. (2023)

Die Produktionsstrukturen werden von fossilen Rohstoffen wie Braunkohle, Erdöl und Erdgas dominiert. Im Chemiesiedreieck sind schon verschiedene Initiativen für eine klimafreundlichere Energie- und Rohstoffbasis zu beobachten. So sind Initiativen wie Pilotanlagen für grünes Methanol, reine Wasserstoffkraftwerke oder innovative Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse vorzufinden.

Das nachfolgende Sankey-Diagramm Abbildung 9 schlüsselt die Stoffflüsse und Verzweigungen der Polymerproduktion im Mitteldeutschen Chemiesiedreieck detaillierter auf. Die dargestellten Produktionsvolumina und Flüsse basieren auf eigenen Modellergebnissen und sind als indikativ zu bewerten. Ein Knotenpunkt ohne vorangehenden oder nur teilweise abdeckenden Fluss weist auf Produktbezüge von außerhalb des Clusters hin. Folgt hingegen auf einen Knotenpunkt kein (vollständiger) Fluss in einen Folgeprozess, so deutet dies auf Exporte hin. Diese können prinzipiell an andere Standorte geliefert, direkt an Kunden verkauft oder auch für Prozesse außerhalb des Polymersystems verwendet werden. Auffällig ist, dass große Mengen der produzierten Olefine und Aromaten nicht zu Polymeren weiterverarbeitet werden.

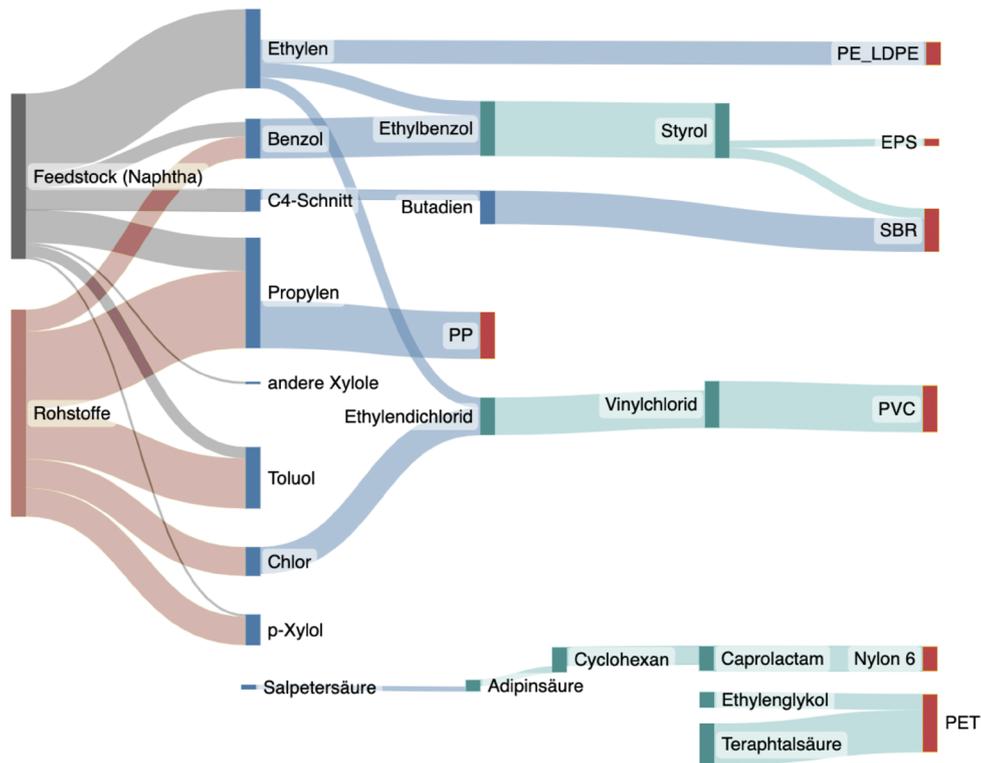


Abb. 9: Sankey-Diagramm zur Produktion innerhalb des Mitteldeutschen Chemiedreiecks zur Produktionsvolumina und -Prozessketten basieren auf eigenen Modellergebnissen und sind mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet. Die Ausgangsbasis „Rohstoffe“ ist hier Sammelbegriff für Inputstoffe wie Rohöl, Erdgas, Biomasse, Salze etc. zu verstehen, die sich von dem Feedstock Naphtha abgrenzen. Quelle: Scholz et al. (2023)

Dieses Kapitel basiert auf dem Teilbericht „Die petrochemische Industrie in Mitteldeutschland“. Eine Kurzanalyse der Industriestruktur im mitteldeutschen Chemiedreieck und ihrer Einbettung in das nordwesteuropäische Produktionssystem des Wuppertal Instituts (Scholz 2025).

5.7 Akteursbasierte Diskussion und Umsetzung einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft

Der Bericht „Zentrale Aspekte einer akteursbasierten Diskussion und Umsetzung einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft“ von Christoph Zeiss zeichnet zentrale Stränge der Forschung und der Akteursdiskussion über klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft in den Jahren 2021 bis 2024 in NRW nach und gibt einen spezifischen Blick auf die Einrichtung, Durchführung und Erkenntnisse des Zukunftslabors Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft von IN4climate.NRW im Rheinischen Revier. Die heute vorhandenen Strukturen zur gemeinsamen Diskussion und Strategiebildung der Industrietransformation gehen zurück auf die Diskussion zum Klimaschutzplan NRW aus dem Jahr 2012. Die daraus entstandenen Forschungsprojekte wie SCI4climate.NRW und Institutionen wie In4climate.NRW sind heute zentralen Orte der gemeinsamen Strategieentwicklung von Wirtschaft, Wissenschaft und Politik. Seit 2018 beschäftigt sich die Arbeitsgruppe Kohlendioxidwirtschaft von IN4climate.NRW mit Fragen zur Infrastrukturentwicklung für CO₂ und den Optionen der CO₂-Nutzung. In der nun umbenannten Fachgruppe Kohlenstoffwirtschaft werden nun auch die stofflichen Aspekte des Kohlenstoffs in der Industrietransformation diskutiert. Die Carbon Management Strategie des Landes Nordrhein-West-

falen basiert auch auf den Diskussionen und Ergebnissen dieser Arbeit.

Im Rahmen des Braunkohleausstiegs und der Strukturförderung wurde im Rheinischen Revier im Rahmen des Projektes IN4climate.RR eine regional basierte Plattform geschaffen. Innerhalb dieses Projektes wurde das Thema Kohlenstoffe in dem Zukunftslabor Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft behandelt. Teilnehmende des Zukunftslabors waren u.A. die Unternehmen Pfeifer & Langen, Inter-zero Circular Solutions, Yncoris, Gebr. Eigelshoven, Carbon Service & Consulting, RWE Power, die Institutionen: AGIT, LANUV, Fachverband Biogas, Wald und Holz NRW, ChemCologne, Zweckverband West und Forschungsinstitute wie Forschungszentrum Jülich, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt und das nova-Institut.

Die Projektarbeit durchlief in der Zwischenzeit einige Phasen (Abbildung 10), deren Ansatz und Inhalt in dem Teilbericht ausgeführt werden.

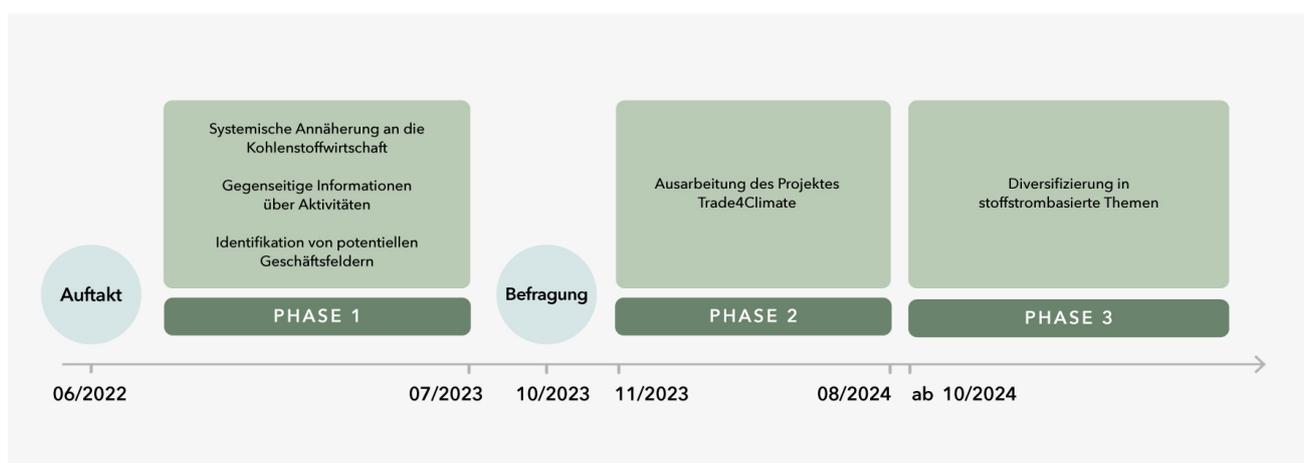


Abb. 10: Arbeitsphasen des Zukunftslabors Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft aus Zeiss (2025c)

Zentrale Erkenntnisse aus der gemeinsamen Arbeit:

Kohlenstoffwirtschaft ist branchenübergreifend und umfasst eine Vielzahl von Akteuren. Das Element Kohlenstoff ist heute in so vielen Wirtschaftsaktivitäten und Rohstoffpfaden präsent, dass ein übergreifender Blick auf die Kohlenstoffwirtschaft eine sehr große und heterogene Gruppe von Akteuren benötigt, die alle ihre eigene spezielle Sicht auf Teile der Wertschöpfungskette haben.

Es gibt Überschneidungen zu anderen Themen, die aber die Gesamtheit der Kohlenstoffwirtschaft nicht im Blick haben. Teilbereiche der Kohlenstoffwirtschaft, wie die Bioökonomie, die Bereitstellung biogener Rohstoffe aus der Landwirtschaft oder die Papierherstellung, arbeiten mit Kohlenstoff und sind von der Transformation zur Klimaneutralität betroffen. Insbesondere im Rheinischen Revier sind diese Bereiche bereits fachlich gut erschlossen und werden von relevanten Akteuren aktiv bearbeitet. Die Zusammenhänge und Abhängigkeiten zukünftiger, klimaneutraler und nachhaltiger Kohlenstoffpfade sind den Akteuren derzeit aber noch nicht in notwendigem Umfang bewusst und spielen so vielfach noch keine Rolle in Investitionsentscheidungen von Unternehmen.

Die Systemzusammenhänge einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft sind hochkomplex, es braucht Zeit und wissenschaftlichen Input, damit Akteure diese Zusammenhänge miteinander diskutieren können. Akteure haben häufig ihren Blick nur auf ihren Ausschnitt der Kohlenstoffwertschöpfungskette. Dieser auf die eigene Wertschöpfungskette ausgerichtete Blick, ausgehend von der bisher linearen Nutzungsweise von Kohlenstoff, erschwert für einzelne Beteiligte die Erfassung von Potentialen und Hindernissen, die sich durch eine klimaneutrale Nutzung von Kohlenstoff

eröffnen. Um diese komplexen Zusammenhänge zu verstehen und aus der eigenen Brille bewerten zu können ist Zeit, Dialog und wissenschaftlicher Input notwendig.

Die breite Aufstellung von Akteuren zur Diskussion des Kohlenstoffsystems erschwert die konkrete Projektumsetzung. Gespräche zu konkreten Projektumsetzungen brauchen Akteure, die gemeinsame Interessen haben und bestenfalls räumlich oder über gemeinsame Stoffströme miteinander verbunden sind. Die Breite der Kohlenstoffwirtschaft führt dazu, dass viele Akteure so weit in der Wertschöpfungskette voneinander entfernt sind, dass gemeinsame Projekte nicht sinnvoll sind. Nach einer Identifikation der zukünftigen Wertschöpfungsketten ist es daher sinnvoll, Akteure aus der breiten Diskussion herauszuholen und auf Basis kürzerer Wertschöpfungskettenverknüpfungen oder gemeinsamer Stoffströme konkreter Projektideen zu diskutieren.

Die Auswirkungen der zukünftigen klimaneutralen Kohlenstoffwertschöpfung unterscheidet sich stark für Akteure mit einer direkten und einer indirekten Stoffstrombeziehung. Akteure mit einer direkten Stoffstrombeziehung sind zum Beispiel Chemieunternehmen, die bisher auf Basis von Rohöl chemische Vorprodukte bezogen haben. Diese Unternehmen müssen alternative Kohlenstoffquellen finden, die Umwandlung in ihre Produkte technisch umsetzen, sie logistisch bewältigen und für Ihre Produkte auskömmliche Renditen erwirtschaften. Demgegenüber stehen Unternehmen, die mit diesen Vorprodukten arbeiten und, solange die Stoffeigenschaften sich nicht ändern, lediglich vor der Herausforderung stehen steigende Vorproduktkosten auf Ihre Endkunden umlegen zu können. Dadurch ist der Transformationsdruck auf diese Unternehmen sehr unterschiedlich. Dieses Kapitel basiert auf dem Teilbericht Zentrale Aspekte einer akteursbasierten Diskussion und Umsetzung einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft des Wuppertal Instituts. (Zeiss, 2025c)

5.8 Aktuelle politische Prozesse zur Kohlenstoffwirtschaft

Der Teilbericht „Übersicht aktuelle politische Prozesse zur Kohlenstoffwirtschaft“ von Dr. Valentin Espert und Lea Pattberg stellt den Stand der zentralen politischen Prozesse im Bereich des Kohlenstoffmanagements im für Deutschland relevanten Mehrebenen-Governance System zusammenfassen. Die Umsetzung einer nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft setzt einen unterstützenden regulatorischen Rahmen voraus. Auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene laufen derzeit vielfältige Prozesse zur Schaffung entsprechender Vorgaben. Diese Richtlinien, Gesetze und Langfriststrategien werden entscheidend beeinflussen, welche Technologien und Infrastrukturen für einen klimaneutralen Umgang mit Kohlenstoff etabliert werden können. Ein fundiertes Verständnis politischer Weichenstellungen ist daher essentiell, um sich mit den Zukunftsfragen im Bereich der Kohlenstoffwirtschaft auseinanderzusetzen. Konsistente politische Regelungen bilden die Grundlage für Investitionsentscheidungen von Unternehmen, da der Aufbau der Technologien und Infrastruktur für das Kohlenstoffmanagement maßgeblich von privaten Akteuren getragen werden soll. Aktuelle Prozesse sind (Abbildung 11):

Carbon Management Strategie der Bundesregierung: Die Carbon Management-Strategie (CMS) ist ein zentrales Instrument für die Erreichung von Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 in Deutschland. Der Fokus liegt auf dem Einsatz von CCS- und CCU-Technologien für schwer oder nicht vermeidba-

ren Emissionen der Industrie². Die Strategie sieht verschiedene Maßnahmen vor, um den Hochlauf dieser Technologien zu ermöglichen, darunter die Anpassung des Rechtsrahmens, die Förderung von CCS- und CCU-Projekten, den Aufbau einer Transportinfrastruktur und die Ermöglichung der Offshore-Speicherung von CO₂. Aktuell gibt es ein Eckpunktepapier zur CMS und einen Entwurf des Kohlendioxidspeicherungsgesetzes (KSPG), in dem wichtige Umsetzungsschritte für die CMS verankert sind. Durch das Ende der Ampel-Regierung wurde dieses Vorhaben nicht weiterverfolgt.

Langfriststrategie Negativemissionen: Diese Strategie umfasst fünf Kernthemen: Zielgrößen für den Ausbau negativer Emissionen, Bewertung von Methoden und Technologien, Governance und Rechtsrahmen, Ökonomische Anreize und Marktrahmen sowie Forschung und Entwicklung. Im Februar 2024 wurde eine Eckpunktepapier veröffentlicht, seit Mai 2024 läuft ein Beteiligungsprozess mit Stakeholdern aus Zivilgesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft, der im Auftrag des BMWK durch die dena durchgeführt wird.

Weitere in dem Teilbericht betrachtete Prozesse und Strategien sind:

- Die Novellierung des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes (KSPG)
- Die Bundesagentur für Sprunginnovationen
- Das Positionspapier der Landesregierung Baden-Württemberg
- Die Carbon Management Strategie des Landes Nordrhein-Westfalen
- Die EU Industrial Carbon Management Strategy
- Der Inflation Reduction Act in den USA

2 Gemäß den mit dem Eckpunktepapier veröffentlichten FAQs handelt es sich bei „schwer oder anderweitig nicht vermeidbaren Emissionen“ um Emissionen, „die auch beim Einsatz von Wasserstoff oder der Elektrifizierung des Produktionsprozesses nicht vermieden werden können“ (bspw. prozessbedingte Emissionen der mineralischen Industrie) sowie um Emissionen, die erst bei Verfügbarkeit der erforderlichen Technik und Wirtschaftlichkeit „auf mittlere bis lange Sicht vermeidbar sind“ (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), 2024b FAQs).

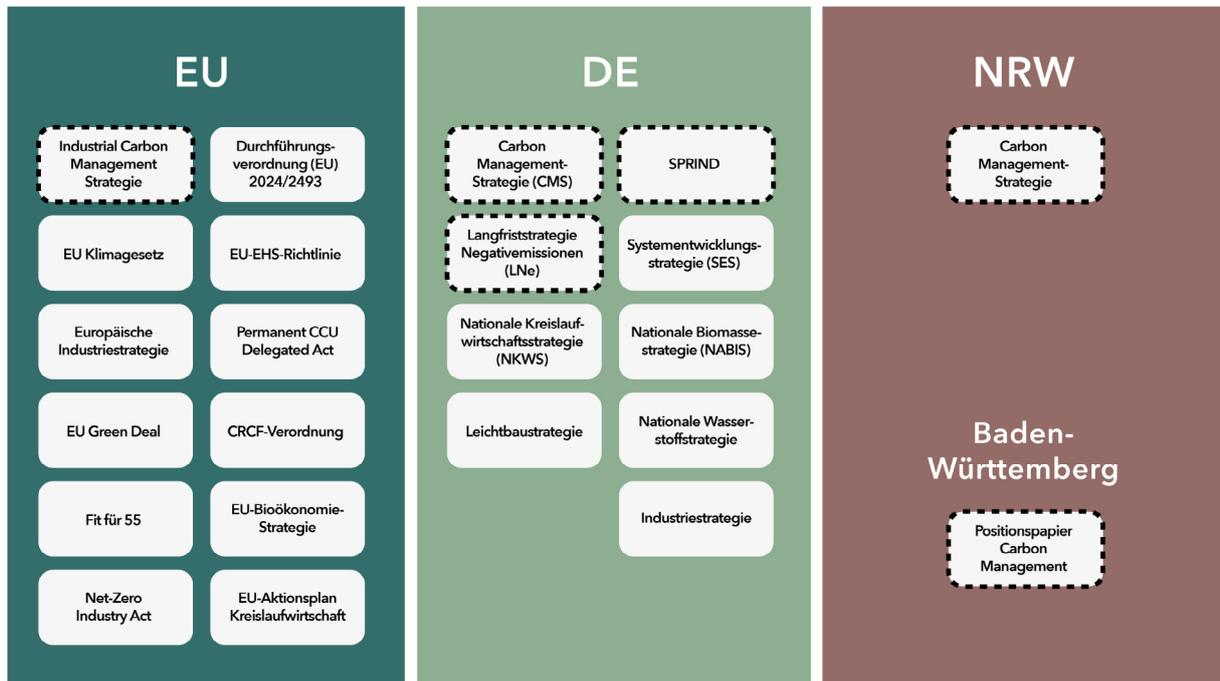


Abb. 11: Politische Instrumente mit Bezug zur Kohlenstoffwirtschaft aus Espert, Pattberg, Zeiss (2025)

Dieses Kapitel basiert auf der Kurzstudie Übersicht aktuelle politische Prozesse zur Kohlenstoffwirtschaft des Wuppertal Instituts von 2025 (Espert et al., 2025).

5.9 Kohlenstoffwirtschaft im Wandel: Strategien für Klimaneutralität im Mitteldeutschen Revier

5.9.1 Veränderungsintensität von Unternehmen im Mitteldeutschen Revier

Es gibt eine Vielzahl von Unternehmen, die von den Veränderungen durch die Transformation hin zur Klimaneutralität betroffen sind. Eine statistische Analyse der aktuell kohlenstoffintensiven Unternehmen zeigt vor allem solche auf, die entweder große Energiemengen umwandeln oder fossile Rohstoffe in hohem Maße verarbeiten. Das Ziel der Klimaneutralität wird jedoch langfristig alle Unternehmen beeinflussen, auch wenn der Grad der Veränderungstiefe erheblich variiert. In welchem Maße diese Veränderung auf Unternehmen einwirkt, beschreibt die **Veränderungsintensität**. Die Veränderungsintensität beschreibt hier qualitativ das Ausmaß und die Dringlichkeit der notwendigen Anpassungen, die ein Unternehmen vornehmen muss, um auf externe und interne Herausforderungen zu reagieren und wettbewerbsfähig zu bleiben. Diese kann sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf das Unternehmen haben.

Die Zuordnung wurde nach Scopes (World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development, 2004) strukturiert. Scopes sind Kategorien, die dabei helfen, die Quellen von Treibhausgasemissionen eines Unternehmens systematisch zu erfassen.

- **Scope 1** sind direkte Treibhausgasemissionen aus Quellen, die zu den Unternehmen gehören oder von ihnen kontrolliert werden. Dazu gehören z.B. Emissionen aus der Wärmeversorgung,

aus eigenen Anlagen oder aus Produktion von chemischen Grundstoffen.

- **Scope 2** sind indirekte Emissionen, die zum Beispiel aus dem Zukauf von Elektrizität oder Wärme außerhalb des Unternehmens entstehen.
- **Scope 3** sind andere indirekte Emissionen, die aus der wirtschaftlichen Tätigkeit der Unternehmen in der vor- oder nachgelagerten Wertschöpfungskette entstehen.

Die Betrachtung der Scopes erfolgt aus der Perspektive einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie dient lediglich dazu, bestimmte Veränderungsnotwendigkeiten innerhalb der Scopes zu veranschaulichen und darzustellen. Die Anwendung der Scopes auf Unternehmen basiert auf öffentlich verfügbaren Informationen, ohne eine tiefgehende Analyse, wie etwa auf Revierebene oder der detaillierten Zuordnung einzelner Unternehmensteile, vorzunehmen.

Um einen genaueren Blick auf einzelne Akteure zu ermöglichen, wurden aus der Unternehmensliste in einer strukturierten Stichprobe 17 Unternehmen ausgewählt, welche die Bandbreite der Herausforderungen in Bezug auf die Transformation zu einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier darstellen. Diese Unternehmen wurden ebenfalls auf die Veränderungsintensität hin analysiert.

Tabelle 1: Veränderungsintensität im Rahmen der Transformation zur klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft nach Scopes (aus Zeiss 2025b)

Firma	Scope 1	Scope 2	Scope 3
MIBRAG Mitteldeutsche Braunkohlen-gesellschaft mbH (Kraftwerk Wühlitz)	hoch	gering	hoch
TotalEnergies Raffinerie Mitteldeutschland GmbH	hoch	hoch	hoch
Dow Olefinverbund GmbH	hoch	hoch	hoch
SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH	hoch	hoch	hoch
IDT Biologika GmbH	hoch	mittel	gering
Serumwerk Bernburg AG	hoch	mittel	gering
Schüco PWS Produktions KG + Schüco PWS Kaschierungs KG	gering	gering	mittel
Folienwerk Wolfen GmbH	gering	gering	mittel
thomas zement GmbH	hoch	mittel	mittel
ZGG - Zeiter Guss GmbH	hoch	mittel	hoch
Aluminiumfolie Merseburg GmbH	hoch	mittel	hoch
MUEG Mitteldeutsche Umwelt- und Entsorgung GmbH	gering	gering	gering
REMONDIS PET Recycling Ost GmbH	mittel	gering	gering
Schade Logistic GmbH	hoch	gering	gering
EDL Anlagenbau Gesellschaft mbH	gering	gering	gering

		2025-2030	2030-2035	2035-2040	2040-2045
Evolutionäre Weiterentwicklung des Stoffverbundes im Mitteldeutschen Revier	Ausbau des Recyclings, inkl. chemischen Recyclings zur Sicherung der Rohstoffbasis	<ul style="list-style-type: none"> Gemeinsame Roadmap und Strategieentwicklung der zentralen Akteure zur Dezentralisierung im Revier Kohlenstoffbilanz und Produktbilanz für das MDR Analyse der Wertschöpfungsketten 	<ul style="list-style-type: none"> Weitere kohlenstoffneutrale Stoffverbünde Realisierung von ersten Leuchtürmen von kohlenstoffneutralen Stoffverbänden 	<ul style="list-style-type: none"> weitere kohlenstoffneutrale Stoffverbünde weitere kohlenstoffneutrale Stoffverbünde 	<ul style="list-style-type: none"> Transformation der verbleibenden fossil basierten Stoffverbünde zu klimaneutralen Geschäftsmodellen
	CO₂-Abscheidung und Transport für Chemieindustrie und Kalk/Zementwerke	<ul style="list-style-type: none"> Gemeinsame Roadmap zur Etablierung zentraler Wertschöpfungsketten zum Kunststoffrecycling im Revier Realisierung einer beispielhaften geschlossenen Wertschöpfungskette im Revier (Leuchttrium) 	<ul style="list-style-type: none"> Auswertung des Recyclings, des Einsatzes von Sekundärmaterialien und Vermarktung klimaneutraler Produkte 	<ul style="list-style-type: none"> Leistungs- und Anlagenbau Klimaneutrale Zementindustrie 	<ul style="list-style-type: none"> Klimaneutrale Chemieindustrie
	Alternativer Kohlenstoff für die Düngerproduktion	<ul style="list-style-type: none"> Initiierung einer Plattform für Unternehmen mit CCS-Ambitionen im MDR Klärung Anschlussbedarfe und Trassenverlauf 	<ul style="list-style-type: none"> Entscheidung für eine Klimaneutralitätsstrategie (CCS vs. H₂) Integration in Netzaubaupläne (H₂ oder CO₂) 	<ul style="list-style-type: none"> Phasenout Erdgas Leistungs- und Anlagenbau 	
	Negative Emissionen (CDR)	<ul style="list-style-type: none"> Klärung der rechtlichen Rahmenbedingungen Klärung der Einbindungen von Negativemissionskonzepten in CCS-Infrastrukturen 	<ul style="list-style-type: none"> Umsetzung in MVA und Kalk/Zementproduktion Startup-Phase 		

Abb. 12: Roadmap für die Strategie „Evolutionäre Weiterentwicklung des Stoffverbundes“ und die darunterfallenden Strategiebausteine



	2025-2030	2030-2035	2035-2040	2040-2045
Transformation für KMU und Mittelstand	Lokale Prozess- und Raumwärmeerzeugung aus Erneuerbaren Energien Identifikation von zentralen Wärme/Kälteclustern Erhebung von lokalen Wärmekonzepten Lokale Abstimmungsrunden zwischen den beteiligten Akteuren Ausbau und Anpassung von Wärme/Kältenetzen Pilot-LowEx Konzepte	Ausbau von Wärmeerzeugungskapazitäten und -infrastrukturen auf Basis Erneuerbarer Energien		
	Technischer Einsatz von festem Kohlenstoff Identifikation der Unternehmen, die feste Kohlenstoffe in Prozessen nutzen Leuchtturmprojekte zum Einsatz festen Kohlenstoffs in Unternehmen Forschungsprogramm zur Identifikation und Substitution von technischem Kohlenstoff PhaseOut/Phasen von alternativen Kohlenstoffen			
Gesellschaftliche Einbindung	Untersuchung zur Einarbeitung der Bevölkerung		Aus- und Weiterbildung von Mitarbeiterinnen	
			Kommunikation zu Wissen über Industrietransformation	

Abb. 13: Roadmap für die Strategien Transformation für KMU und Mittelstand und deren Strategiebau- steine sowie für die Strategie „Gesellschaftliche Einbindung“

Die Auswertung zeigt die unterschiedlichen Anforderungsebenen, denen Unternehmen in den unterschiedlichen Wertschöpfungsketten im Mitteldeutschen Revier unterliegen. Die Wertschöpfung von Unternehmen wie der MIBRAG, TotalEnergies und DOW basieren heute fast ausschließlich auf Basis fossiler Kohlenstoffe, daher ist dort auch ein sehr hoher Veränderungsdruck sichtbar. Die MIBRAG steht mit der Braunkohleförderung ganz am Anfang der Wertschöpfungskette, mit dem Kohleausstieg wird dieser Rohstoff nicht mehr gefördert oder genutzt. Die Nachfrage nach Strom und Wärme bleibt erhalten, alternative Optionen für die Strom- und Wärmeerzeugung sind aber vorhanden oder im Ausbau. Daher ist dort ein anderes Geschäftsmodell auf Kohlenstoffbasis nur schwer vorstellbar. Die Chemieindustrie (hier mit Total Energies und DOW) sind später in der Wertschöpfungskette angesiedelt und verarbeiten fossiles Rohöl. Auch hier bleibt die Nachfrage nach Kunststoffen und chemischen Vorprodukten erhalten, allerdings können hier auch klimaneutral erzeugte Kohlenstoffe aus anderen Quellen genutzt werden, der Wertschöpfungsschritt der Verarbeitung von Kohlenstoffen bleibt daher erhalten. Ein etwas andere Fall sind die SKW Stickstoffwerke Piesteritz, die aufgrund ihres hohen Erdgaseinsatzes (auch zur Wasserstofferzeugung) vor großen Herausforderungen stehen. Zusätzlich fällt ein Teil der klimawirksamen Treibhausgasemissionen erst bei der Düngung auf dem Acker an, was außerhalb der direkten Einflussnahme des Unternehmens liegt. Unternehmen wie die IDT Biologika GmbH und das Serumwerk Bernburg sind über Ihre Prozess- und Wertschöpfungskette weniger betroffen, dort besteht wie in vielen anderen Unternehmen aber die Herausforderung, die Strom- und Wärmeversorgung in Zukunft klimaneutral zu gestalten. Je nachdem, ob die Unternehmen über eigene Strom- und Wärmeerzeugungskapazitäten verfügen oder sich die Energie zuleiten lassen, liegen die Transformationsanforderungen im Scope 1 oder 2. Bei den Kunststoffverarbeitern sind unterschiedliche Ansätze sichtbar. Kunststoffverarbeitende Unternehmen wie Schüco oder das Folienwerk Wolfen sind darauf angewiesen, dass ihnen heute oder in Zukunft Rohstoffe zur Verfügung stehen, die nicht auf Basis fossiler Kohlenstoffträger erzeugt wurden. Zusätzlich bietet sich die Möglichkeit, die eigenen Produkte nach der Nutzungszeit zurückzunehmen und selber wieder einzusetzen oder zu recyceln. Beide Unternehmen bieten bereits Produkte aus biobasierten Stoffen und mit einem Anteil von Rezyklat an.

5.9.2 Roadmap für eine klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft

Zur strukturierten Herleitung einer Roadmap für die klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier wurde ein siebenstufiges Vorgehen entwickelt (Abbildung 14), das die Grundlage für eine umfassende Analyse und die Ableitung strategischer Handlungsempfehlungen bildet.

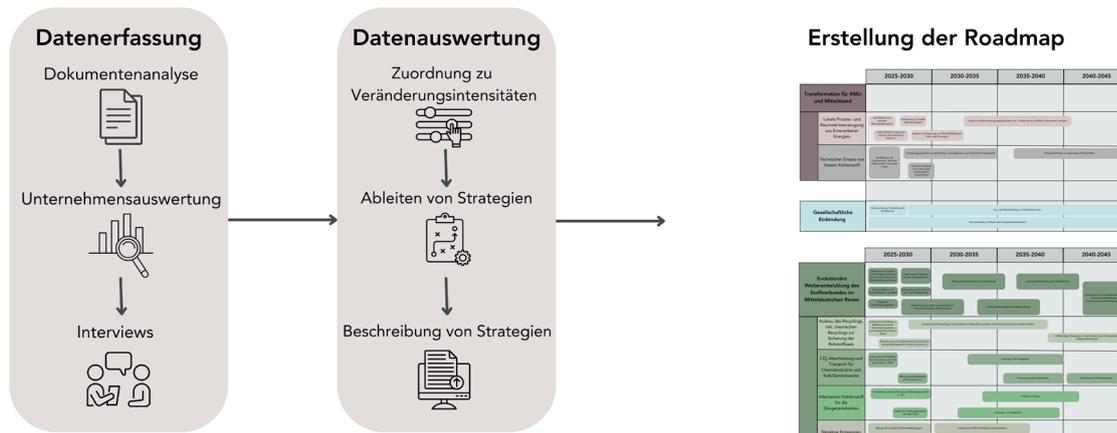


Abb. 14: Struktureller Ablauf der Roadmap-Erstellung

Bei der Formulierung der Strategien galten folgende Überlegungen: Ziel ist es, die Unternehmen im Mitteldeutschen Revier zu erhalten und ihnen die Transformation zur Klimaneutralität zu ermöglichen. Unternehmen können nur klimaneutral produzieren, wenn ihre grünen Produkte in einem Markt zu Preisen abgenommen werden, der ihnen Gewinne und Investitionen in die Transformation ermöglichen. Damit das erreicht werden kann, braucht es politische Eingriffe und gesellschaftliche Veränderungsprozesse. Beispiele für politische Instrumente sind die Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) oder die Carbon Contracts for Difference (CCfD) der EU. Diese Instrumente sind allerdings noch nicht ausreichend für die Herausforderungen der Unternehmen im Mitteldeutschen Revier.

Für die Unternehmen im Mitteldeutschen Revier müssen darüber hinaus in dem Übergang zur Klimaneutralität bis 2045 zusätzlich Zwischenlösungen und schrittweise Weiterentwicklungen ermöglicht werden, gerade für die im Stoffverbund agierenden Unternehmen des mitteldeutschen Chemiedreiecks. Komplexe Systeme wie diese können nicht von einem Tag auf den anderen vollständig umgestellt werden, verschiedenen Zwischenschritte sollten aufeinander aufbauen und idealerweise die nächsten Zwischenschritte mitfinanzieren. Die hier beschriebenen Strategien sollen dabei helfen.

Unterschieden wird zwischen übergeordneten Strategien, die einen Rahmen für die Weiterentwicklung und Transformation für das Mitteldeutsche Revier bilden, und Strategiebausteinen, die in diesem Rahmen eine eigene Akteurszusammensetzung und Herausforderungsebene bilden. Als übergeordnete Strategien wurden die Evolutionäre Weiterentwicklung des Stoffverbundes im Mitteldeutschen Revier, die Transformation für KMU und Mittelstand sowie die gesellschaftliche Einbindung der Industrietransformation identifiziert (Abbildung 15). Die einzelnen Strategien und Strategiebausteine

sind in dem Teilbericht zur Roadmap anhand des Ziels, der Erläuterung des Hintergrunds und der notwendigen Voraussetzungen beschrieben. Zusätzlich wurden Maßnahmen für das Mitteldeutsche Revier definiert und die für die Umsetzung notwendige Akteure benannt.

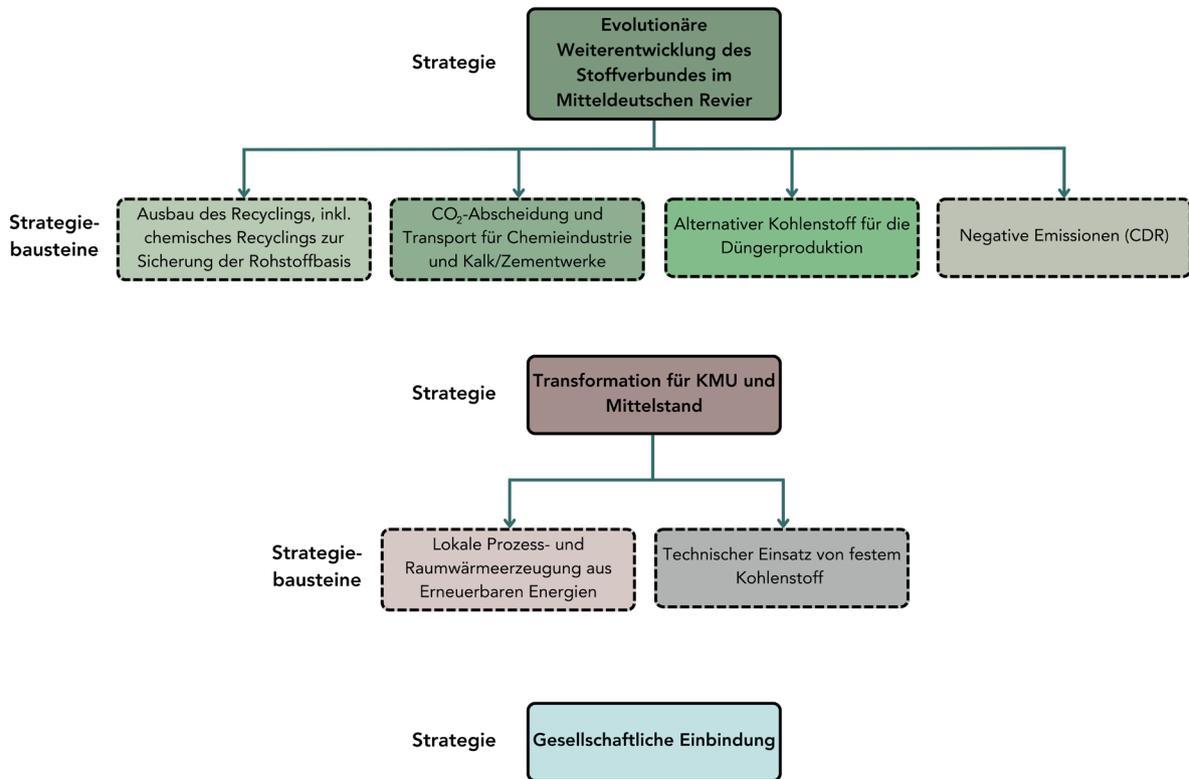


Abb. 15: Strategien und Strategiebausteine für eine Transformation zu klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier

Die skizzierten Maßnahmen der einzelnen Strategien und Strategiebausteine werden hier auf einer Zeitachse dargestellt (Abbildung 12 und Abbildung 13). Für die einzelnen Maßnahmen wird eine Reihenfolge innerhalb der Strategie und des Strategiebausteins auf dem Zeitstrahl dargestellt. Die angegebenen Zeiträume zur Durchführung der Strategien basieren auf den Strategiebeschreibungen, auf den aus den Teilberichten ableitbaren zeitliche Erwartungen z.B. für einen Infrastrukturaufbau und auf eigenen Einschätzungen, wann welche Schritte zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2045 gegangen werden müssten. Sie sind nicht als Festlegungen zu werten, sondern als Vorschläge für eine schrittweise Umsetzung der Transformation. Idealerweise dienen diese Maßnahmen als Grundlage einer Strategieentwicklung in den einzelnen Strategiebereichen und werden von den in den Strategiebeschreibungen genannten Akteuren gemeinsam diskutiert und angepasst.

Dieses Kapitel basiert auf dem Teilbericht „Kohlenstoffwirtschaft im Wandel: Strategien für Klimaneutralität im Mitteldeutschen Revier“ des Wuppertal Instituts von 2025 (Zeiss, 2025b).

6 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

Die vorliegende Studie, durchgeführt vom Wuppertal Institut in Kooperation mit dem Unternehmensberater Arvid Friebe im Auftrag des Forum Rathenau e.V., analysiert die aktuelle Situation und die Entwicklungspotentiale der kohlenstoffbasierten Industrien im Mitteldeutschen Revier. Dabei werden die Herausforderungen und Chancen im Kontext der Klimaneutralität herausgearbeitet und Handlungsempfehlungen für einen erfolgreichen Strukturwandel entwickelt.

Die Studie stützt sich auf eine breite Datenbasis, die sowohl statistische Unternehmensdaten aus dem Mitteldeutschen Revier, Unternehmensinterviews als auch eine umfassende Literaturrecherche umfasst. Darüber hinaus wurden eigene Forschungsergebnisse des Wuppertal Instituts und die Erkenntnisse aus verschiedenen Akteursdialogen und Workshops berücksichtigt.

Das Mitteldeutsche Revier zeichnet sich durch eine hohe Dichte an kohlenstoffbasierten Industrien aus, wobei insbesondere die Chemieindustrie eine zentrale Rolle spielt. Diese Unternehmen sind für die regionale Wirtschaft von großer Bedeutung, stehen jedoch im Hinblick auf die Klimaneutralität vor erheblichen Herausforderungen. Die Transformation der kohlenstoffbasierten Industrie ist mit einer Vielzahl von Herausforderungen verbunden. Technologisch erfordert sie die Entwicklung und Implementierung neuer, klimaneutraler Technologien, was erhebliche Anstrengungen in Forschung und Entwicklung notwendig macht. Wirtschaftlich stehen die Unternehmen vor großen Herausforderungen aufgrund hoher Investitionskosten und der Unsicherheit über zukünftige Marktbedingungen. Zudem ist der Aufbau neuer Infrastrukturen, wie beispielsweise CO₂-Transportnetze, für den Einsatz von CCS-Technologien oder der Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur notwendig. Ein weiteres Problem stellt die Akzeptanz von CCS-Technologien und anderen Maßnahmen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen in der Bevölkerung dar.

Trotz dieser Herausforderungen bietet die Transformation auch eine Reihe von Chancen. Unternehmen können neue Geschäftsmodelle in den Bereichen Kreislaufwirtschaft, Bioökonomie und der Nutzung von CO₂ als Rohstoff entwickeln. Der Ausbau erneuerbarer Energien und die Entwicklung neuer Technologien können die regionale Wertschöpfung stärken und zukunftsträchtige Arbeitsplätze in neuen Industrien schaffen.

Handlungsempfehlungen für das Mitteldeutsche Revier

Zusätzlich zu den in der Roadmap enthaltenen Meilensteinen ergeben sich aus den einzelnen Teilberichten folgende Handlungsempfehlungen für das Mitteldeutsche Revier:

Auf die Stärken im Revier setzen: Das Mitteldeutsche Revier hat durch seine vernetzten Chemie- und Industriestandorte eine gewachsene Kooperations- und Wertschöpfungskultur, die große Potentiale für die Transformation zur klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft bieten kann. Der Stoffverbund muss nicht neu geschaffen werden – er existiert bereits und kann kontinuierlich weiterentwickelt werden. Daher empfiehlt es sich, die notwendige Transformation im Kern mit den bereits vorhandenen und vernetzten Akteuren zu starten, die sich der Herausforderungen der Transformation bewusst sind. Die Chemieindustrie sitzt zusätzlich am Beginn einer der zentralen kohlenstoffbasierten Wertschöpfungsketten und hat dementsprechend auch Einfluss auf die nachgelagerten Wertschöpfungsbereiche.

Proaktiv in die nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft einsteigen: Die in den Klimaneutralitätsszenarien erkennbaren Veränderungen zeigen bereits heute konkrete Auswirkungen auf die Wertschöp-

fung und den Umgang mit Kohlenstoff. Besonders relevant sind dabei die Entwicklung einer künftigen Kreislaufwirtschaft, die Nutzung biogener Ausgangsstoffe und neue Wertschöpfungspfade für negative Emissionen. Wer in den Technologien und Märkten der Zukunft eine Rolle spielen will, muss bereits jetzt Wissen aufbauen, sich strategisch klug positionieren und in zukunftsfähige Wertschöpfung investieren. Im Mitteldeutschen Revier gibt es bereits exzellente Vorreiter, die diesen Weg gehen – sie gilt es gezielt zu unterstützen. Gleichzeitig ist es entscheidend, die Breite der Unternehmen auf ihrem Transformationsweg zu begleiten und zu fördern. Das kann und sollte Aufgabe von gemeinsamen Initiativen von Forschung, Politik und Unternehmen sein.

Die Bevölkerung mitnehmen: Industrietransformation braucht die Unterstützung und die Akzeptanz in der Bevölkerung. Das Mitteldeutsche Revier braucht zuerst eigene Daten, wie seine Einwohner*innen den Infrastrukturausbau im Rahmen der Transformation zur Klimaneutralität einschätzen. Eine darauf aufbauende Diskussion über industrielle Infrastrukturprojekte kann gelingen, wenn die beteiligten Akteure ein ausreichendes Wissen über die technischen und gesellschaftlichen Hintergründe sowie die Notwendigkeiten des Ausbaus haben. Dadurch können Konflikte zwar nicht vollständig vermieden werden, aber sie lassen sich auf konkrete Punkte eingrenzen, bei denen inhaltlich begründete Differenzen bestehen. Neue Technologien und Transformationen erfordern auch neue Fähigkeiten in Unternehmen und Verwaltung. Bestehende Qualifikationen müssen erweitert und in Ausbildungsprogramme integriert werden. Eine aktive Herangehensweise im Mitteldeutschen Revier kann Beschäftigungsperspektiven schaffen und helfen, dass Menschen vor Ort die Transformation aktiv mitgestalten.

Sektoren vernetzen und gemeinsam denken: Die Kohlenstoffwirtschaft verbindet heute schon unterschiedliche Sektoren und Wertschöpfungsketten. Dies wird sich in Zukunft noch weiter intensivieren, da sich viele Transformationsstrategien in der Industrie ohne Rücksicht auf eine Branchenzugehörigkeit überschneiden. Das gilt zum Beispiel für den Aufbau einer CO₂-Infrastruktur, die Bereitstellung von grünem Wasserstoff, die Kreislaufwirtschaft oder die Nutzung von biogenen Rohstoffen. Daher sollten Initiativen und Projekte im Bereich der Kohlenstoffwirtschaft möglichst sektorenübergreifend anhand der konkreten Wertschöpfungsketten konzipiert und durchgeführt werden. Zusätzlich überschneiden sich Strategien für eine nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft mit anderen Themenbereichen, die durch eigene aktive Akteurskreise und fachliche Diskussionen bereit geprägt und entwickelt sind. Dazu gehören zum Beispiel die Initiativen zur Wasserstoffwirtschaft im Revier oder die Akteure der Bioökonomie. Hier sollte eine gemeinsame strategische Abstimmung zu Schnittstellen und Synergiepotentialen zur nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft stattfinden

Gemeinsam und entschlossen politische Prozesse mitgestalten: Den Anforderungen an Unternehmen durch die klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft stehen heute noch nicht die notwendigen Rahmenbedingungen und Förderungen gegenüber. Zentrale gesetzliche Rahmenbedingung fehlen, die Finanzierung neuer Prozesse durch grüne Leitmärkte steht noch ganz am Anfang. Eine gemeinsame Plattform von Unternehmen und Akteuren im Mitteldeutschen Revier zur Umsetzung der klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft könnte diese Defizite gemeinsam benennen, konkrete Herausforderungen und Hindernisse einzelner Unternehmen herausarbeiten und aus diesem Hintergrund heraus Forderungen und Input auf den verschiedenen Politikebenen bringen. Gerade praxisbezogene Impulse können einen erheblichen Einfluss auf Tempo und Ausgestaltung der für die Transformation nötigen Prozesse haben.

7 Literatur

Bitter-Krahe, J., Hoffmann, M., & Zeiss, C. (2025). *Perspektiven der Kreislaufwirtschaft im Kontext einer Kohlenstoffwirtschaft*.

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2024b): FAQ zu CCS und CCU. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/F/FAQ/faq-ccs-ccu.pdf?__blob=publicationFile&v=10 (abgerufen am 07.11.2024)

Espert, V., Pattberg, L., & Zeiss, C. (2025). *Übersicht aktuelle politische Prozesse zur Kohlenstoffwirtschaft*.

Espert, V., & Zeiss, C. (2025). *Übersicht einer zukunftsfähigen Kohlenstoffwirtschaft auf Basis eines Klimaneutralitätsszenarios*.

Newman, A. J. K., Dowson, G. R. M., Platt, E. G., Handford-Styring, H. J., & Styring, P. (2023). *Custodians of carbon: Creating a circular carbon economy*. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1124072. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1124072>.

Scholz, A. (2025). *Die petrochemische Industrie in Mitteldeutschland. Eine Kurzanalyse der Industriestruktur im mitteldeutschen Chemiesdreieck und ihrer Einbettung in das nordwesteuropäische Produktionssystem*.

Scholz, A., Schneider, C., Saurat, M., & Theisen, (2023). *Das petrochemische System in Deutschland und Westeuropa: Regionale Analyse der Polymer-Produktion in Deutschland, den Niederlanden und Belgien ; Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „Green Feedstock for a Sustainable Chemistry - Energiewende und Ressourceneffizienz im Kontext der dritten Feedstock-Transformation der chemischen Industrie“* (S. 14667 KB, 83 pages) [Application/pdf]. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. <https://doi.org/10.48506/OPUS-8146>

SCI4climate.NRW. (2023b). *Treibhausgasneutralität in Deutschland bis 2045 - Ein Szenario aus dem Projekt SCI4climate.NRW*. Wuppertal Institut & Institut der deutschen Wirtschaft. https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/Ergebnisse_SCI4climate.NRW/Szenarien/2023/treibhausgasneutralitaet-in-deutschland-bis-2045-szenario-cr-sci4climate.nrw.pdf

Weber, N., & Zeiss, C. (2025). *Akzeptanzfragen der Kohlenstoffwirtschaft*.

Zeiss, C. (2025a). *Einordnung von Kohlenstoffströmen hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit und deren Auswirkungen auf Wertschöpfungspotentiale*.

Zeiss, C. (2025b). *Kohlenstoffwirtschaft im Wandel: Strategien für Klimaneutralität im Mitteldeutschen Revier*.

Zeiss, C. (2025c). *Zentrale Aspekte einer aktorsbasierten Diskussion und Umsetzung einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft*.

Anhang 1: Protokoll Basisstudie-Abschlusspräsentation



ANHANG 1: PROTOKOLL BASISSTUDIE - ABSCHLUSSPRÄSENTATION

Datum:	27.02.2025
Uhrzeit:	Öffentliche Abschlusspräsentation zur Basisstudie (16.30 bis 17.30 Uhr) CarbonCycleCultureClub (C4) Podiumsdiskussion zur Basisstudie „Strukturwandel: Kohlenstoffbasierte Industrien in Mitteldeutschland auf dem Weg in neue Märkte - Wirtschaftliche Ausgangslage und Entwicklungspotentiale“ (18.00 -21.30 Uhr)
Ort:	Filmmuseum Wolfen

TEILNEHMENDE

Vorstandsmitglieder des Forum Rathenaus, Teammitglieder des Forum Rathenaus, Christoph Zeiss und Arvid Friebe, Mitglieder des Projektbegleitenden Kreises, Gäste, Repräsentanten verschiedener Institutionen: Ministerium für Wirtschaft, Tourismus, Landwirtschaft und Forsten des Landes Sachsen-Anhalt, Biomasseforschungszentrum, Ministerium für Wissenschaft, Energie, Klimaschutz und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt Fraunhofer Institute der Region, Europäische Metropolregion Mitteldeutschland, Martin- Luther Universität Halle, Hochschule Anhalt, Verband der Chemischen Industrie Nordost, Kooperationsnetzwerk Chemie+, DBFZ, IHK Halle - Dessau, EWG; BioEconomy e.V., CTC, Unternehmen der Region u. n. m.

AGENDA

- 16.30 - 17.30 Uhr: Abschlusspräsentation Basisstudie „Strukturwandel: Kohlenstoffbasierte Industrien in Mitteldeutschland auf dem Weg in neue Märkte - Wirtschaftliche Ausgangslage und Entwicklungspotentiale“ mit öffentlicher Feedbackrunde (ausschließlich in Präsenz)
- 17.30 - 18.00 Uhr: Pause
- 18.00 - 20.00 Uhr: Podiumsdiskussion im Rahmen des CarbonCycleCultureClub C4, zu Gast bei Prof. Dr. Ralf Wehrspohn, Stefanie Pötzsch (Staatssekretärin im Ministerium für Wirtschaft, Tourismus, Landwirtschaft und Forsten des Landes Sachsen-Anhalt, Prof. Dr. Thomas Brockmeier (Hauptgeschäftsführer der IHK Halle-Dessau), Dr. Andreas Kohl (Head of Specialty Chemicals and Catalysts, Verbio SE), Matthias Lux (Vorsitzender Geschäftsführer der Stadtwerke Halle GmbH) sowie Christoph Zeiss (Senior Researcher am Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie und Hauptautor der Basisstudie); (hybrid)
- Get-together mit Imbiss bis etwa 21 Uhr

ERGEBNISSE UND FEEDBACK:

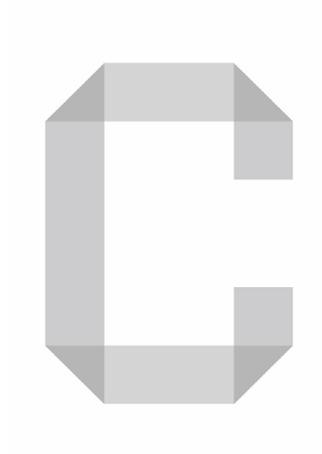
- ❖ **Punkte aus der Abschlusspräsentation durch Arvid Friebe und Christoph Zeiss:**
- Handlungsempfehlungen und Fazit aus AP1 (Kapitel 1): Bedarf nach einer regionalen Carbon-Management-Strategie ist vorhanden für das Mitteldeutsche Revier (eine solche Landesstrategie wird nicht ersetzt durch eine nationale CMS).
- Die Mehrzahl der durch die anstehenden transformativen Veränderungen betroffenen Betriebe liegt in Sachsen-Anhalt. Potenzielle Gewinner wie Entwicklungs- und Ingenieurunternehmen, die Aufträge für Transformationsprozesse erhalten, befinden sich eher im sächsischen Teil des Mitteldeutschen Reviers. Als Schlussfolgerung sollte daher eine solche regionale Transformationsstrategie (CMS) unter der Federführung der Landesregierung von Sachsen-Anhalt erfolgen. Um anschließend in die Umsetzung der Carbon-Management-Strategie zu kommen, empfiehlt Arvid Friebe einen Carbon-Management-Trilog aus Gesellschafts-, Wirtschafts- und Politikvertretern mit der Zielsetzung, Vertrauen zu bilden, Ziele abzustecken und die Strategie in die Praxis zu überführen.
- Laut Arvid Friebe machen die Interviews deutlich, dass die Unternehmen Probleme bei der Einführung von Produkt- und Prozessinnovationen weniger im Bereich der Genehmigungs- oder Planungsverfahren, sondern vor allem bezogen auf Gesetze bzgl. der Produkthaftung haben (Produkthaftungsrechte).
- Definition Kohlenstoffwirtschaft (nach Christoph Zeiss): Die Kohlenstoffwirtschaft beschäftigt sich mit der Bereitstellung, Verarbeitung, Nutzung und Speicherung von Kohlenstoffen zur Herstellung kohlenstoffhaltiger Produkte. Die Grundannahme lautet, es wird eine klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft gebraucht, um Klimaneutralität zu erreichen.
- Folgende zentrale Strategien und Strategiebausteine werden durch die Eröffnungsbilanz der Basisstudie für transformative Prozesse gezeigt: - evolutionäre Weiterentwicklung des Stoffverbundes (Ausbau des Recyclings, chemisches Recycling, CO₂-Abscheidung, Transportwege etc.), - Transformation für KMU und Mittelstand, - gesellschaftliche Einbindung der Bevölkerung und der organisierten Zivilgesellschaft in den Transformationsprozess. Die Unternehmen bringen proaktiv eigene Visionen/ Vorstellungen mit in den Prozess/Strategie mit ein.
- Kohlenstoffbilanzierungen sollten zur Bewertung von Transformationsprojekten auf Grundlage der nun vorliegenden Basisstudie berücksichtigt werden (Aus welchen Quellen stammt der Kohlenstoff?)
- Vorstellung der 5 Thesen aus der Basisstudie durch Christoph Zeiss:
 1. Die klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft wird zahlreiche Wertschöpfungsketten grundlegend verändern. Besonders betroffen sind dabei Branchen und Unternehmen, die Braunkohle, Rohöl und Erdgas als stoffliche Ausgangsmaterialien nutzen oder hohe Temperaturen für Prozesswärme benötigen.
 2. Das Mitteldeutsche Revier, insbesondere das mitteldeutsche Chemiedreieck kann sich zu einem zentralen Treiber der Transformation in die klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft entwickeln. Seine integrierten Stoffverbünde und Akteursnetze bieten ein großes Potential für klimaneutrale Wertschöpfung.
 3. Damit Unternehmen in einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft wirtschaftlich erfolgreich sein können, müssen noch zahlreiche politische und regulatorische Rahmenbedingungen auf regionaler, nationaler und EU-Ebene geschaffen werden. Auf der Basis von regionalen Leitmärkten kann das Mitteldeutschen Revier bei der Umsetzung eine Vorreiterrolle einnehmen.

4. Das Mitteldeutsche Revier benötigt eine eigene Carbon-Management-Strategie, um die Herausforderungen des Übergangs zur klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft zu gestalten und die regionalen Stärken gezielt zu bündeln. Diese Strategie sollte in enger Zusammenarbeit von Wirtschaft, Politik und Gesellschaft entwickelt werden.
5. Unternehmen können nur klimaneutral produzieren, wenn Ihre grünen Produkte in einem Markt zu Preisen abgenommen werden, der Ihnen Gewinne und Investitionen in die Transformation ermöglichen. Für die Unternehmen im Mitteldeutschen Revier müssen daher in dem Übergang zur Klimaneutralität bis 2045 zusätzlich Zwischenlösungen und schrittweise Weiterentwicklungen ermöglicht werden, gerade für die zurzeit noch im fossilen Stoffverbund agierenden Unternehmen des mitteldeutschen Chemiedreiecks

❖ **Punkte aus der Podiumsdiskussion:**

- Herr Dr. Mühlhaus (Kooperationsnetzwerk Chemie+) weist darauf hin, dass das Projekt CapTransCO₂ eine Machbarkeit für ein mitteldeutsches CO₂ Pipeline-Netz erstellt hat.
- Das chemische Recycling wird allein diskutiert, dabei weist Herr Dr. Mühlhaus darauf hin, dass aufgrund der Ausnahme der Müllverbrennungsanlagen vom EU-ETS, im Moment das chemische Recycling wirtschaftlich unattraktiv ist und z.B. das Projekt für Pyrolyseöle unter diesen Bedingungen in Böhlen für den Cracker der DOW nicht umgesetzt wird. Hier gilt es, im gesamten Kontext der Kohlenstoffwirtschaft Regularien, Stoffströme und Kreislaufwirtschaft noch einmal neu zu betrachten.
- Herr Lux (Stadtwerke Halle) weist darauf hin, dass die Stadtwerke ebenfalls Teil des Stoffverbundes werden müssten, um Wärme und andere Medien aus dem Stoffverbund zu erhalten. Für die Stadtwerke Halle wäre Schkopau der nächste Anschlusspunkt.
- Hier gilt es ebenfalls alle Akteure der gesamten Kohlenstoffwirtschaft stofflich und energetisch zu verbinden.

TEILBERICHT I



Die Lage der fossil-basierten Industrie im Mitteldeutschen Revier

1. Einführung: Die „kohlenstoffbasierte Industrie“ im Mitteldeutschen Revier³

Der Abbau der Braunkohle bescherte dem Mitteldeutschen Revier einen beispiellosen wirtschaftlichen Aufschwung – von hier aus wurde Anfang des 20. Jahrhunderts ganz Deutschland mit Chemikalien und Elektrizität versorgt. Ab den 1960er Jahren ersetzte zunehmend über Pipelines herangeführtes Erdöl die „Kohlechemie“, was zur Entwicklung eines reichen Mikrokosmos' an Industrieunternehmen und Dienstleistungsbetrieben beitrug. Aus Wertschöpfungsketten wurden Wertschöpfungsnetze. Auch heute spielt die „kohlenstoffbasierte Industrie“ eine bedeutende Rolle im regionalen Wirtschaftsgefüge, in Sachsen-Anhalt mehr als in Sachsen und Thüringen. Zwar konsolidierte die Industrie während der Corona-Pandemie, aber ein Abbau der Beschäftigung war bis 2022 nicht zu verzeichnen. Doch die klimapolitisch nötige ‚Defossilisierung‘ und die damit einhergehende Verteuerung kohlenstoffbasierter Rohstoffe zwingt die Unternehmen zur erneuten Transformation. Die Erarbeitung entsprechender Strategien erfolgt in kleinen und mittleren Unternehmen eher ad hoc, intuitiv und personenzentriert. Lediglich bei größeren Unternehmen besteht die Chance auf einen strukturierten Strategiebildungsprozess. Dabei hat die Region mit einer starken Landwirtschaft, leistungsfähigen Chemieparcs und einer nahezu durchgängigen Forschungsinfrastruktur gute Voraussetzungen für ein Gelingen der ‚Defossilisierung‘. Als Treiber dieser Transformation treten derzeit eher große, kapital- und humankapitalstarke Unternehmen hervor, weniger die kleinen und mittleren Unternehmen. Daher sollte eine regionale Carbon-Management-Strategie von staatlicher Seite aus angestoßen und in Form strukturierter Dialogprozesse koordiniert in die Praxis umgesetzt werden.

Dem Kohlenstoffatom, das in seiner reinsten Form über sechs Neutronen und sechs Protonen verfügt, kommt spätestens seit den 1950er Jahren weltweit eine überragende Stellung in unserem Wirtschaftssystem zu: internationale Konflikte wurden nicht gescheut, um den Zugang zu leicht zugänglichen Kohlenstoffspeichern zu erlangen.⁴ Betrachtet man den gesamten Kosmos, zählt das Kohlenstoffatom zu den fünf häufigsten Elementen – auf der Erde kommt es nicht einmal unter die ersten zehn. Fokussiert man sich jedoch auf die irdische Biosphäre, ist Kohlenstoff essenziell: Es ist in allen Lebewesen (dem Gewicht nach) das bedeutendste Atom. Kohlenstoff ist dasjenige Element, das (nach Wasserstoff) die meisten Verbindungen eingehen kann – es ist ein Meister der Geselligkeit. Besonders oft verbindet es sich mit dem kosmisch häufigsten Element, dem Wasserstoff. Diese sogenannten Kohlenwasserstoffe gibt es in schier unerschöpflichen Formen und Größen. Alles Lebende ist aus Kohlenwasserstoffen aufgebaut, auch alles Gewesene – wie die riesigen Urwälder, die einst dort wuchsen und vom Schlamm sich ausbreitender und austrocknender Urseen bedeckt wurden, wo heute das Mitteldeutsche Braunkohle-Revier liegt.

Es waren vermutlich Bauern, die Anfang des 17. Jahrhunderts den oberflächennahen Rohstoff unter ihren Pflügen oder Schaufeln entdeckten und herausfanden, dass er sich zum Heizen eignete. Als zur Zeit der napoleonischen Kriege Anfang des 19. Jahrhunderts Deutschland vom Import südamerikanischen Rohrzuckers abgeschnitten war⁵ und man eine eigene energieintensive Zuckerindustrie aufbaute, begann der

3 Endbericht für das Arbeitspaket 1 der Studie: „Kohlenstoffbasierte Industrien in Mitteldeutschland auf dem Weg in neue Märkte“ des Forum Rathenau e. V., Bitterfeld-Wolfen, 2025.

4 Vgl. Christian Grataloup: „Die Geschichte der Welt – ein Atlas“, 2023, S. 492. Detaillierter bei Gerhard L. Weinberg: „A World at Arms – A Global History of World War II“, 1994, S. 421ff.

5 sog. Kontinentalsperre

Braunkohlentagebau seinen Aufschwung.⁶ Die groß angelegte Brennstoffgewinnung lockte die energiehungrige Chemieindustrie an, zunächst in kleineren Maßstäben rund um Halle (Saale), Weißenfels und Zeitz, schließlich in großindustriellen Dimensionen nach Bitterfeld und Leuna. Um 1900 wurde schließlich auf der Braunkohlegewinnung die Elektrizitätserzeugung aufgebaut – derart, dass nicht nur Mitteldeutschland, sondern gar Berlin mit Strom versorgt werden konnte.⁷ Im Ersten Weltkrieg wurden wichtige chemische Betriebe in den rückwärtigen Raum der Fronten verlegt, z. B. nach Leuna. Neue Produktionsverfahren in der Kohle- und Elektrochemie sorgten wiederum für das Entstehen weiterer Werke, v. a. in Zeitz, Böhlen und Teutschenthal, aber auch in Piesteritz. Im kleinen Örtchen Zschornowitz ging am 15. Dezember 1915 das seinerzeit weltweit größte Dampfkraftwerk ans Netz, auf Basis örtlicher Braunkohle. Viele dieser Werke wurden im Zuge des in Vorbereitung befindlichen Zweiten Weltkriegs weiter ausgebaut, sodass die mitteldeutsche Chemieindustrie 1945 etwa 35 Prozent zur gesamtdeutschen Chemikalienproduktion beitrug⁸. In den 1970er Jahren schloss man die ostdeutschen Chemiestandorte wegen der absehbaren Erschöpfung der Braunkohletagebaue an die aus der Sowjetunion kommenden Rohöl- und Erdgas-Pipelinennetze an. Die mitteldeutsche Chemieindustrie verarbeitete zwar immer noch Kohlenstoff fossiler Quellen – aber zunehmend weniger heimischen, und nicht mehr in Gestalt fester, sondern flüssiger und gasförmiger Gemische. Ihrem Produktionswert nach war die Chemieindustrie der zweitgrößte Wirtschaftszweig der Deutschen Demokratischen Republik: „Chemie gibt Brot, Wohlstand, Schönheit“⁹.

Nach wirtschaftlich schwierigen Jahren infolge der deutsch-deutschen Wiedervereinigung hat sich die mitteldeutsche Chemieindustrie inzwischen wieder als wichtiger Wirtschaftsmotor Gesamtdeutschlands etabliert. In Sachsen-Anhalt stellte sie im Jahr 2022 mit 11 Mrd. Euro Umsatz und knapp 10.400 Beschäftigten den bedeutendsten Wirtschaftszweig dar.¹⁰ Die Chemieunternehmen im Bundesland Sachsen erwirtschafteten 2022 einen Gesamtumsatz von knapp 5 Mrd. Euro und beschäftigten etwa 8.300 Männer und Frauen; dort rangiert die Branche immerhin noch unter den ersten zehn. In Thüringen spielte die Chemieindustrie 2022 mit einem Gesamtumsatz von 1,5 Mrd. Euro und rund 4.500 Beschäftigten eine eher untergeordnete Rolle.¹¹ Die zweite Transformation, die der mitteldeutschen Chemieindustrie nun bevorsteht – Mitte des 20. Jahrhunderts von Braunkohle auf Erdöl und Erdgas, heute von Erdöl und Erdgas auf postfossile Kohlenstoffressourcen – stellt also nicht nur die Unternehmen vor große Herausforderungen, sondern auch die Gesellschaft, zumindest im regionalen Kontext.

6 Im Folgenden nach: Berent Schweineköper [Hg.]: „Handbuch der historischen Stätten Deutschlands – Provinz Sachsen-Anhalt“, 1987, S. LXXIXff

7 Vgl. Hans Otto Gericke: „Die Elektrizitätsversorgung in Sachsen-Anhalt: ein Abriss der regionalen Entwicklung von den Anfängen bis 1946/47“, 2021

8 Bundesministerium für innerdeutsche Beziehungen [Hg.]: „DDR-Handbuch – Band 1: A-L“, 1984, S. 253ff.

9 So der Titel des Dokumentenbandes der „Chemiekonferenz des Zentralkomitees der SED und der Staatlichen Plankommission in Leuna am 3. und 4. November 1958“, abgebildet in: Marina Ahne/ Monika Gibas [Hg.]: „Mitteldeutsche Industrielandschaften im 19./20. Jahrhundert“, 2017, S. 135.

10 Hier und im Folgenden nach Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen: „Statistischer Bericht: Bergbau und verarbeitendes Gewerbe im Freistaat Sachsen - 2022. E I 3 – j/22“, Kamenz 2023, Tab. 1.1; Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt: „Statistischer Bericht: Verarbeitendes Gewerbe sowie Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden. Tätige Personen, Umsatz, Produktion. Jahr 2022“, Halle (Saale) 2023, Tab. 1.2; Thüringer Landesamt für Statistik: „Statistischer Bericht: E I - j / 22. Strukturdaten im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe in Thüringen 1.1. - 31.12.2022“, Erfurt 2023, Tab. 1.

11 Allein aus der amtlichen Statistik gehen die wirtschaftsstrukturellen Unterschiede der drei mitteldeutschen Bundesländer bezüglich der Chemieindustrie deutlich hervor: Die großen Unternehmen haben ihren Sitz in Sachsen-Anhalt, hier beträgt der Umsatz je Beschäftigten durchschnittlich 1 Mio. Euro, in Sachsen sind es 600.000 Euro, in Thüringen 300.000 Euro.

Dazu kommt: Der Anteil fossiler Rohstoffe am Primärenergieverbrauch lag 2021 in allen drei Ländern Mitteldeutschlands immer noch zwischen 60 und 90 Prozent.¹²

Mehr als die Hälfte aller in der Chemieindustrie Beschäftigten aus den drei Bundesländern Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen hat seinen Arbeitsplatz im Mitteldeutschen Revier.¹³

Doch was ist unter „kohlenstoffbasierter Industrie“ oder genauer: unter „Industrie auf Basis fossiler Rohstoffe“ genau zu verstehen und welche Bedeutung hat sie im Mitteldeutschen Revier? Zunächst ist festzuhalten, dass unter dieser Definition alle Unternehmen zu zählen sind, die Kohlenstoffatome bereitstellen, verarbeiten oder verbrennen, die aus fossilen Quellen stammen, also aus Kohle, Erdöl oder Erdgas – ganz gleich, an welcher Stelle sie in der Wertschöpfungskette stehen. Dies ist die kohlenstoffbasierte Industrie im engeren Sinne. Im weiteren Sinne sind die einschlägig von dieser Industrie abhängigen Dienstleister hinzuzurechnen, also Transporteure, Großhändler, Ingenieurbüros, Forschungsorganisationen.¹⁴ Das Mitteldeutsche Revier wiederum ist durch die Definition des „Investitionsgesetzes Kohleregionen“ legal abgegrenzt.¹⁵ Aufgrund wirtschaftshistorischer und aktueller Verflechtungen bietet es sich jedoch an, das Untersuchungsgebiet um die Landkreise Salzlandkreis, Wittenberg, Altenburger Land sowie die Stadt Dessau-Roßlau zu erweitern.

In der so definierten Untersuchungsregion waren im Jahr 2022 laut Sonderauswertung des Statistischen Landesamtes Sachsen-Anhalt 6.402 Betriebe gemeldet, davon 3.038 im sächsischen und 2.192 im sachsen-anhaltischen Teil des Mitteldeutschen Reviers sowie 1.172 im ergänzenden Untersuchungsgebiet.¹⁶ Die amtliche Statistik erlaubt aufgrund von Geheimhaltungsinteressen der Unternehmen keine hinreichend genauen Aussagen zu den Beschäftigten. Jedoch lässt sich schlussfolgern, dass im sachsen-anhaltischen Teil des Reviers etwa doppelt so viele Beschäftigte in der kohlenstoffbasierten Industrie tätig waren (und sind) als im sächsischen Teil des Reviers und etwa dreimal so viele wie in den ergänzenden Untersuchungsgebieten.¹⁷ Das wiederum führt zu der Erkenntnis, dass die Betriebe im sachsen-anhaltischen Revier über durchschnittlich mehr Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter verfügen als ihre Pendanten im Bundesland Sachsen. Das ist aufgrund der unterschiedlichen Verbreitung der chemischen Werke bei näherer Betrachtung wenig verwunderlich. Während sich im urbanen Ballungsraum um Leipzig eine hohe Zahl an kohlenstoffbasierten Betriebseinheiten zählen lässt, stechen besonders die Landkreise Anhalt-Bitterfeld und Saalekreis mit hohen Beschäftigungszahlen hervor – sie sind die Standorte der landschaftsprägenden Chemieparcs.

Die gegenwärtige Ära der „Multikrisen“ lässt die Frage aufkommen, ob sich das Jahr 2022 als Referenzjahr eignet; es war das letzte Jahr der Corona-Pandemie und das erste Jahr des russischen Angriffskriegs auf die Ukraine. Es mag daher nicht verwundern, dass die Zahl der Betriebe in allen untersuchten Städten und Landkreisen zwischen 2019 und 2022 zurückging – im sächsischen Teil des

12 Zuletzt verfügbare Daten der Statistischen Ämter der Länder Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen

13 Aus der konsolidierten Datenbankauswertung ergibt sich für die Chemieindustrie des Mitteldeutschen Reviers eine Beschäftigtenzahl von ca. 12.500.

14 Eine Liste der so ausgewählten Industriezweige findet sich im Anhang.

15 Vgl. § 2 Nr. 3 InvKG: Landkreis Leipzig, Stadt Leipzig, Landkreis Nordsachsen, Burgenlandkreis, Saalekreis, kreisfreie Stadt Halle, Landkreis Mansfeld-Südharz, Landkreis Anhalt-Bitterfeld

16 Länderübergreifende Sonderauswertung des Landesamtes für Statistik Sachsen-Anhalt aus dem Unternehmensregister vom August 2024. Gezählt wurden alle angemeldeten Betriebe („Vollerhebung“).

17 Für den sachsen-anhaltischen Teil des Mitteldeutschen Reviers lassen sich mehr als 30.273 Beschäftigte in den relevanten Branchen ermitteln, für den sächsischen hingegen mehr als 15.437, und für die Ergänzungsgebiete mehr als 10.699. Aufgrund der hohen Zahl an Schwärzungen taugen diese Angaben jedoch nicht für eine verlässliche Auswertung.

Reviere etwas weniger als im sachsen-anhaltischen, aber ganz gravierend, nämlich rund 10 Prozent, in den Randgebieten des Reviers. Während innerhalb des Mitteldeutschen Reviers die Zahl der Beschäftigten gleich geblieben zu sein scheint – das deutet auf eine Konsolidierung des Unternehmensbesatzes während der Corona-Zeit hin –, scheint sie in den ergänzenden Untersuchungsgebieten am Rande des Reviers ebenfalls um 10 Prozent zurückgegangen zu sein.¹⁸ Mithin lässt sich schlussfolgern, dass die Corona-Krise im Mitteldeutschen Revier zu keinem Rückgang der Beschäftigten in der kohlenstoffbasierten Industrie geführt hat. Jedoch ist die Zahl der Unternehmen an sich geschrumpft, vermutlich weil kleinere Unternehmen aufgaben und durch größere ersetzt wurden oder letztere die ersteren integrierten. Ob die kohlenstoffbasierte Industrie des Mitteldeutschen Reviers auch ohne Blessuren durch die seit 2022 andauernde Energiekrise infolge der russischen Invasion in der Ukraine davonkommt, bleibt nachfolgenden Untersuchungen vorbehalten.

1.2 Studienauftrag für Teilbericht I

Gemäß des Leistungsverzeichnisses des Auftraggebers vom 5. März 2024 sollten im Arbeitspaket 1 relevante Daten, Statistiken und Forschungsergebnisse zur aktuellen Situation der kohlenstoffbasierten Industrie im Mitteldeutschen Revier ausgewertet werden. Weiterhin sollte ein Überblick über Prozesse, Technologien und ökonomische Strukturen dieser Industrien gegeben werden. Überblickhaft sollten relevante Studien einbezogen und (evtl. gar schon unterbrochene) Lieferketten aufgefunden gemacht werden. Es waren mithin Erhebungen zu Unternehmen mit Anzahl und Größenklasse, deren Branchenverteilung und Wertschöpfungsanteil, die Situation der Start-ups und die überregionale Verknüpfung der Wirtschaftszweige darzustellen. Ergänzend zu dieser eher quantitativen Auswertung sollten Gespräche mit Unternehmensvertretern („Expertengespräche“) zu den Auswirkungen der Transformation und ihre Bedeutung für die kohlenstoffbasierten Wirtschaftszweige geführt werden.

Nach der Auftragsbestätigung Ende Mai 2024 erfolgte in den Monaten Juni bis September die Beschaffung der relevanten Daten. Im Oktober konnte die Aufbereitung der Daten weitestgehend abgeschlossen und die Auswertung begonnen werden. Die Expertengespräche wurden zwischen November 2024 und Februar 2025 durchgeführt. Die ersten Entwürfe dieses Berichts entstanden im Januar 2025 und wurden Ende Februar 2025 finalisiert.

Mit Abschluss des Arbeitspakets 1 dieser Studie werden unseres Wissens erstmalig für das Mitteldeutsche Revier vorgelegt:

- eine nach Gebiet, Branchenzugehörigkeit und Größenklasse klar abgegrenzte Menge von Unternehmensdatensätzen;
- daraus abgeleitet, eine anhand der Angaben im Unternehmensregister validierte Liste von Unternehmen nach Zahl der Beschäftigten und der Jahresumsätze;
- darauf beruhendes Kartenmaterial zur Veranschaulichung;
- eine textliche Darstellung hinreichend konkreter Stoffströme;
- auf die Region bezogene, ergänzende Auswertungen des Marktstammdatenregisters der Bundes-

¹⁸ Eine Ausnahme bildet hier der Landkreis Anhalt-Bitterfeld, der ebf. zwischen 2019 und 2022 in den betroffenen Branchen einen Rückgang der Betriebszahlen mit mehr als 50 Beschäftigten ausweist.

netzagentur und des European Union Transaction Logs (EUTL) des Emissionshandelssystems der Europäischen Union.

1.3 Branchenprofil der kohlenstoffbasierten Industrien

Im Folgenden werden nur diejenigen Wirtschaftszweige des verarbeitenden Gewerbes betrachtet, die nicht – zumindest nicht in der Hauptsache – für den Endverbraucher produzieren. Die folgende Beschreibung einzelner Wirtschaftszweige der kohlenstoffbasierten Industrien führt Daten aus der amtlichen Sonderauswertung mit Unternehmensdaten verschiedener Quellen zusammen. Alle Daten wurden auf den Stand des Jahres 2022 nivelliert.

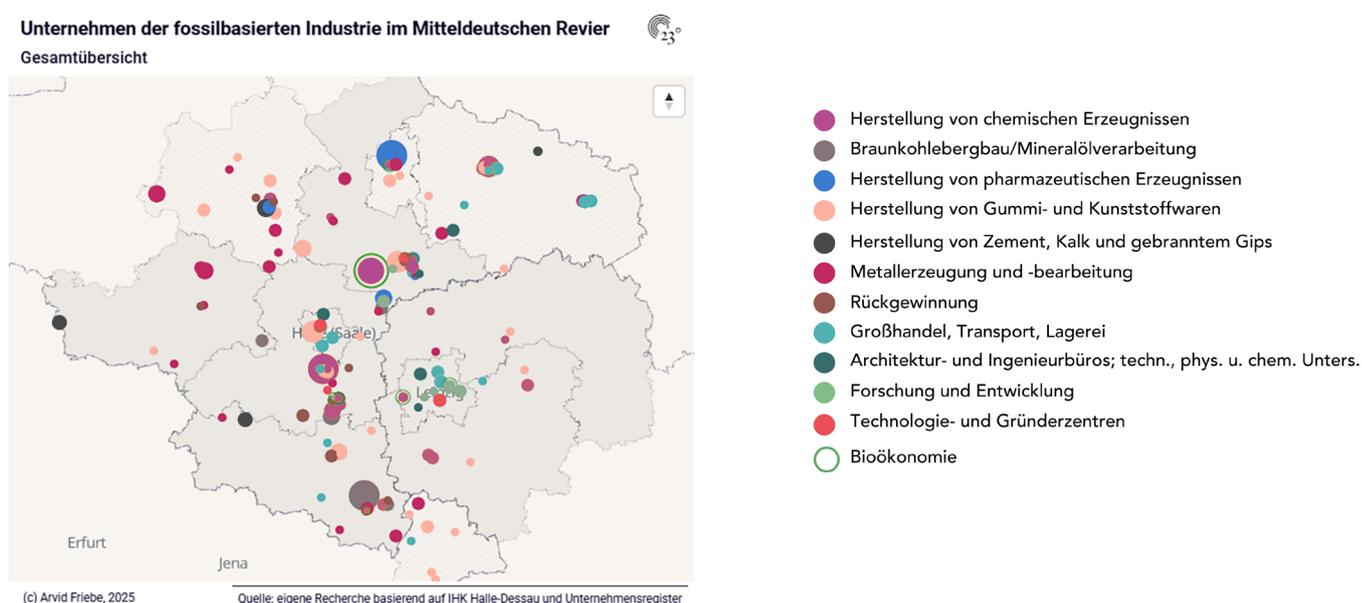


Abb. 1.1: Die Unternehmen der fossilbasierten Industrien mit mehr als 50 Beschäftigten konzentrieren sich in a) den Gebieten mit ihrem spezifischen Rohstoffvorkommen, b) den Industrie- und Chemieparks, c) den städtischen Regionen (trifft überwiegend nur für Leichtindustrie und tertiären Sektor zu).

Aus der Zeit des **Braunkohlebergbaus** sind lediglich zwei Betriebe auf unsere heutige Zeit überkommen: die MIBRAG Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mit Sitz in Zeitz und die ROMONTA Holding mit Sitz in Teutschenthal (Seegebiet Mansfelder Land). Die MIBRAG produziert mit knapp 1.400 Beschäftigten der Braunkohlegewinnung fast ausschließlich für den energetischen Bedarf, vornehmlich der Kraftwerke Schkopau und Lippendorf. Ganz anders hingegen die ROMONTA: Das Unternehmen hat sich mit seinen etwas mehr als 370 Beschäftigten seit rund 100 Jahren als Hersteller von Montanwachs und Spezialwachsen etabliert, ist also in der stofflichen Verwertung der Braunkohle

tätig. Zusammen förderten die beiden Betriebe 2023 um die 12 Mio. t Braunkohle¹⁹ zutage. Im Tagebau Amsdorf, den die ROMONTA betreibt, werden jährlich knapp 500.000 t Rohbraunkohle gewonnen. Die Fördermenge sank binnen der vergangenen zehn Jahre rapide, in den sachsen-anhaltischen Tagebauen um etwa die Hälfte. Grund dafür ist die Schließung erster Braunkohlekraftwerke bzw. der sogenannte fuel-switch einzelner Verbrennungslinien hin zu anderen Energierohstoffen²⁰.

Die Gewinnung von Erdgas spielte in der zu betrachtenden Region nie eine Rolle²¹, und Erdöl ist bekanntermaßen in dem hier anzutreffenden Untergrund schon gar nicht zu erwarten. Seit den 1970er Jahren sind die **Mineralölverarbeitungs**-Standorte Böhlen und Leuna (bis 1996 auch Zeitz) an die Erdölleitung „Freundschaft“ angeschlossen, die bis zu ihrer Schließung Ende 2022 – im Februar des Jahres hatte die russische Invasion in die Ukraine begonnen – noch knapp 17 Mio. t Rohöl nach Deutschland pumpte²². Die TotalEnergies Raffinerie Mitteldeutschland in Spergau bei Leuna stellte 2022 ihren Bezug auf andere Quellen um und dürfte noch 6 Mio. t russisches Rohöl aufgenommen haben.²³ Die Raffinerie zählt mit einer Mineralölproduktion von 12 Mio. t im Jahr 2022 zu den fünf größten Erdölraffinerien Deutschlands (von 17 insgesamt).²⁴ Sie ist mit ihren mehr als 700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern heute nicht nur ein wichtiger Wirtschaftsfaktor im Bundesland Sachsen-Anhalt, sondern das, was im 19. Jahrhundert die Braunkohlentagebaue des Mitteldeutschen Reviers waren: der Anfang einer volkswirtschaftlich bedeutenden Wertschöpfungskette.²⁵ Kraftstoffe sowie Flüssiggas und Heizöl, Naphta und Bitumen, aber auch Methanol und Schwefelwasserstoff gehen von hier aus in die Region.

Das 1936 gegründete Mineralölwerk Lützkendorf, zwischen 1949 und 1989 mit schließlich einer Spitzenproduktionsleistung von 800.000 Jahrestonnen führender Hersteller von Schmierstoffen in der DDR, führt heute als ADDINOL Lube Oil ein Nischendasein. Das Unternehmen produziert Hochleistungs-Schmierstoffe – offenbar mit Erfolg, da das Unternehmen seine Produktionsstätte (seit 1999 in Leuna) kontinuierlich erweiterte. Auch der Altöl-Aufbereiter Puraglobe / Puralube mit Sitz im Chemie- und Industriepark Zeitz, Elsteraue, betreibt inzwischen drei Raffinerien mit einem Durchsatz von rund 200.000 t Altöl pro Jahr. Das Unternehmen stellt hochreine Basisöle und andere Schmierstoffe her. Die Firma Addinol ist dem Grunde nach mit der regionalen Wertschöpfungskette verbunden, bei der Firma Puraglobe / Puralube besteht diesbezüglich eine größere Unabhängigkeit.

19 <https://debriv.de/wp-content/uploads/2024/11/Braunkohlefoerderung-nach-Revieren.pdf>

20 So betreiben die Eigentümer des Kraftwerks Lippendorf inzwischen eine Linie mit Braunkohle und eine Linie mit Erdgas.

21 Lediglich im nördlichen Sachsen-Anhalt, außerhalb der Betrachtungsregion, existiert noch ein Förderfeld in der Nähe der Stadt Salzwedel. Zudem kam die im benachbarten Niedersachsen über Jahrzehnte erfolgreich und umweltschonend betriebene Förderpraxis unter der Bezeichnung fracking zuletzt so stark in Verruf, dass die Betreiber die Förderung immer weiter zurückfahren.

22 www.bruegel.org/dataset/russian-crude-oil-tracker, abgerufen am 14.01.2025

23 Die PCK Raffinerie, Schwedt, weist in ihrem Jahresabschluss 2022 einen Bezug von 11 Mio. t Rohöl aus dieser Pipeline aus. Der für die Raffinerie in Leuna ausgewiesene Betrag ergibt sich aus der Subtraktion von der in Fn. 19 genannten Importmenge.

24 Vgl. Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V.: „Geschäftsbericht 2022/23“, Berlin 2023, S. 118

25 Ein kleinerer Hersteller ist das Mitteldeutsche Bitumenwerk mit Sitz in Webau bei Hohenmölsen. Es produziert mit 195.000 Jahrestonnen Durchsatz und 36 Beschäftigten Mineralölspezialitäten und Bitumen sowie in einem Paraffinwerk mit weiteren 9 Beschäftigten Rohstoffe für die Wachsherstellung und -verarbeitung. Als kleines Unternehmen am Beginn der fossilen Wertschöpfungskette wurde sein Geschäftsführer in die Experteninterviews einbezogen.

Firma	Beschäftigte	Umsatz
MIBRAG, Zeitz	1.364	377
ROMONTA, Teutschenthal	362	90
TotalEnergies Raff. Mitteldtld., Leuna	*731	*9.866
Puralube Holding, Elsteraue	281	162
ADDINOL Lube Oil, Leuna	232	116

Tabelle 1.1: Unternehmen des Braunkohlenbergbaus und der Mineralölverarbeitung im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022

*Die Angaben beziehen sich auf das Geschäftsfeld „Raffinerie“ des Konzernabschlusses zum 31.12.2022.

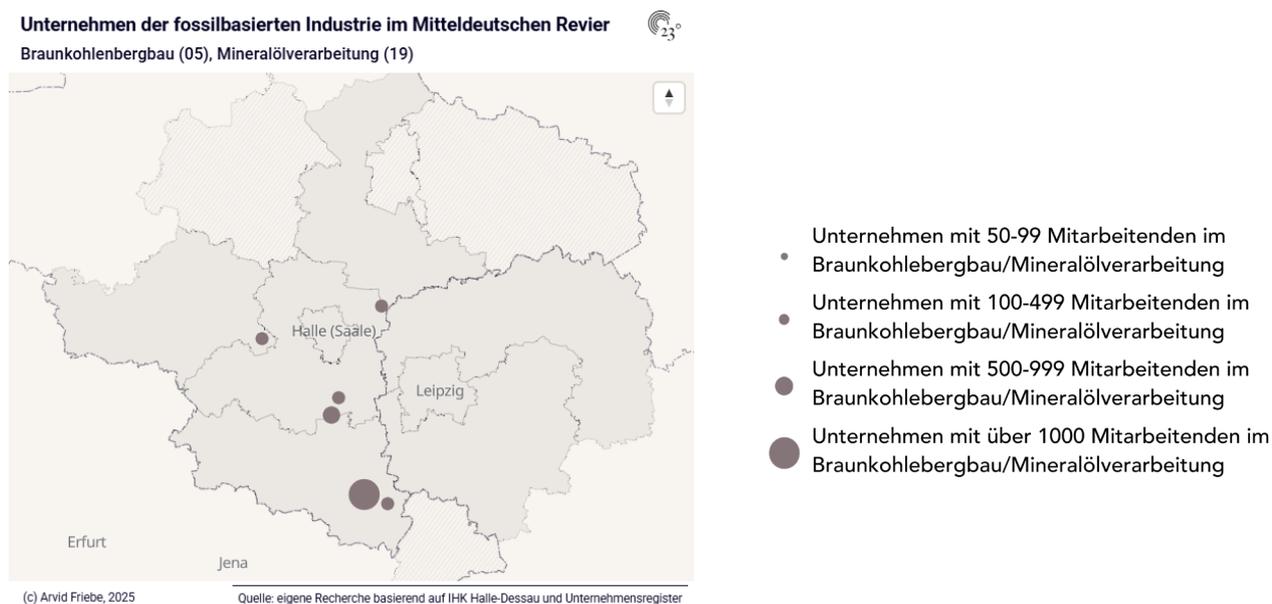


Abb. 1.2: Lage der Unternehmen des Braunkohlenbergbaus und der Mineralölverarbeitung im Mitteldeutschen Revier: Die Unternehmen des Braunkohlenbergbaus und der Mineralölverarbeitung finden sich in der Nähe der noch verbliebenen Kohle-Tagebaue bzw. den Chemieparcs.

Im Untersuchungsgebiet wurden mittels der Auswertung unterschiedlicher Datenbanken 43 Unternehmen mit mehr als 50 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern identifiziert, die der **Chemieindustrie** zuzurechnen sind. Davon liegen 35 im sachsen-anhaltischen und 7 im sächsischen Teil des Reviers, keines im thüringischen. In der Chemieindustrie des sachsen-anhaltischen Teils des Untersuchungsgebiets dürften demnach ca. 7.500 Menschen Beschäftigung finden, im sächsischen Teil rund 1.500.

Als Flaggschiffe der Chemieindustrie im Mitteldeutschen Revier lassen sich ohne weiteres die Werke

des US-amerikanischen Chemiegiganten Dow Chemical bezeichnen: Sie nehmen nach Zahl der Beschäftigten, Umsatz und Stellung am Beginn der chemischen Wertschöpfungskette eine Schlüsselrolle ein. Etwa ein Viertel aller Beschäftigten und etwa ein Fünftel des Branchenumsatzes der Chemieindustrie im Revier entfallen auf die Dow-Verbundstandorte. In Schkopau und Leuna werden die in der benachbarten Erdö Raffinerie gewonnenen bzw. per Pipeline vom Schwesterstandort Stade herangeführten Kohlenwasserstoffe zu Polyethylen (PE), Polyethylenterephthalat (PET), aber auch Dichlortetrahydrofuran, Vinylchlorid, Salzsäure und Natronlauge weiterverarbeitet. Im Werk Böhlen entstehen wichtige kohlenstoffbasierte Basismaterialien für Bauschäume.²⁶ 1995 hatte der US-Konzern die ehemaligen Kombinate in Schkopau und Böhlen sowie einige Kunststoffanlagen in Leuna übernommen, seit 2007 ist Dow auch im Industriepark Bitterfeld-Wolfen mit Anlagen zur Herstellung von Cellulose-Produkten aktiv.²⁷ An die Weiterverarbeitung der in der benachbarten Mineralö Raffinerie gewonnenen Basischemikalien schließen sich bedeutende Chemiebetriebe an: die belgische Unternehmensgruppe Domo (Caprolactam, Polyamid 6²⁸), Leuna-Harze (Epoxidharze²⁹) sowie die US-amerikanischen Unternehmensgruppen Vantage (Tenside³⁰), Innospec (Wachse, Ethylen-Vinylacetat-Polymere³¹ und -Kunststoffe) und Trinseo (Styrol³²), um nur die größten zu nennen.

Kommt der Kohlenstoff in Gestalt von Erdöl an den Standort Schkopau/Leuna, so wird für die Genese des Wasserstoffs Erdgas benötigt. So verwundert es nicht, dass sich das größte Gasezentrum des inzwischen amerikanisch-deutschen Aktienkonzerns Linde in Leuna befindet. Linde produziert dort neben Wasserstoff weitere sogenannte technische Gase wie Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Spezialgase wie Argon und Krypton. Angaben des Unternehmens zu Folge macht sogenannter ‚grauer‘, d. h. aus Erdgas hergestellter Wasserstoff derzeit noch mehr als 90 Prozent der Wasserstoff-Produktion aus; in Leuna produziert Linde rund 80.000 Normkubikmeter Wasserstoff pro Stunde.³³ Mit dem Start des mit erneuerbarer Energie betriebenen PEM-Elektrolyseurs³⁴ kann Linde künftig zusätzlich bis zu 4.500 Normkubikmeter ‚grünen‘ Wasserstoff pro Stunde herstellen.³⁵ Der Wasserstoff wird in südlicher Richtung über eine Pipeline an die Chemieunternehmen in Schkopau, Böhlen und Elsteraue³⁶ verbracht, in nördlicher an die Chemieunternehmen in Bitterfeld und Dessau-Rodleben oder abgefüllt. Dort wird er u. a. von der italienischen Radici Chimica zur Produktion von Adipinsäure, von Puraglobe/ Puralube zur Raffination von Altölen und von den Deutschen Hydrierwerken zur Produktion von Alkoholen, Aminen und Estern gebraucht.

26 Anilin, ein um eine Aminogruppe erweiterter Benzolring.

27 Vgl. die Ausführungen unter Abschnitt 4: „Die regionalen Pioniere der Bioökonomie“.

28 Grundstoffe für die Herstellung von Perlon-Fasern.

29 Duroplastische Kunstharze, weltweit erstmals von Paul Schlack 1934 in Wolfen zum Patent angemeldet.

30 Emulgatoren, die durch ihr wasserliebendes (hydrophiles) „Köpfchen“ und ihr wasserabweisendes (hydrophobes) „Schwänzchen“ in Wasser trennend, d. h. schmutzlösend, wirken.

31 Eigenschaftsverbesserer für Kunststofffolien.

32 Ausgangsmolekül für die Herstellung des Kunststoffes Polystyrol.

33 Linde erzeugt aktuell Wasserstoff mittels der industrieweit etablierten Dampf-Methan-Reformierung (SMR) aus Erdgas, Flüssiggas oder Naphtha.

34 Seinerzeit handelte es sich mit einer Leistung von 24 MW um den weltweit größten PEM-Elektrolyseur (Proton Exchange Membrane).

35 www.linde-engineering.com/products-and-services/success-stories/2024/hydrogen-in-leuna-the-success-story-continues, abgerufen am 26.01.2025. Demnach wird aktuell die Produktion ‚blauen‘ Wasserstoffs mittels PEM unter Abscheidung und Bunkerung des als Koppelprodukt entstehenden Kohlendioxids geprüft.

36 Chemie- und Industriepark Zeitz

In einer anderen Anlage scheidet Linde aus der Luft Sauerstoff ab und überführt ihn per Druckleitung an den benachbarten Standort Schkopau oder füllt ihn in verflüssigter Form zum Transport ab. Das Produktionsvolumen beträgt um die 35.000 Normkubikmeter pro Stunde. In derselben Anlage gewinnt Linde ebenfalls aus der Luft Stickstoff; das stündliche Produktionsvolumen dürfte bei 140.000 Normkubikmeter liegen. Der Stickstoff wird per Pipeline an die Standorte Schkopau, Bitterfeld und Piesteritz verbracht. In Piesteritz wiederum verwendet das Unternehmen SKW den Stickstoff zur Herstellung von Ammoniak, Harnstoff und Salpetersäure sowie weiteren Spezialitäten und Dünger. Das Unternehmen ist mit einem Erdgasverbrauch von 1,2 Mrd. Kubikmeter im Jahr nicht nur größter industrieller Erdgas-Einzelverbraucher; das Unternehmen kann für sich ebenfalls in Anspruch nehmen, Deutschlands größter Hersteller von Ammoniak zu sein. In unmittelbarer Nachbarschaft produziert ebenfalls ein Titelträger: Das Unternehmen LAT Nitrogen ist Europas größter Produzent von Melamin; in Piesteritz werden jährlich rund 90.000 t dieses Ausgangsstoffes für Leime und Harze hergestellt.

Im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen nimmt auch heute noch, im Gegensatz zu Leuna, die anorganische Chemie einen bedeutenden Platz ein.³⁷ Die Produktion organischer, also kohlenwasserstoffbasierter Moleküle erfolgt hier auf Basis von Erdgas (Methan). In einem inzwischen zum deutschen Chemiekonzern Lanxess gehörenden Werk werden im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen sogenannte Ionenaustauscherharze zur Aufbereitung und Reinigung von Wasser und anderen flüssigen Medien hergestellt. Indulor Chemie beschäftigt sich mit der Produktion von Emulsions-, Lösungs- und Massepolymerisaten, die in der Bauchemie, der Herstellung von Druckfarben oder der Holzveredelung Verwendung finden. WeylChem Organica ist ein Auftragsfertiger kohlenwasserstoffbasierter Feinchemikalien. Weitgehend unbeachtet blieb die Nachricht des im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen ansässigen niederländischen Bergbau- und Chemiekonzern Nobian, seit 2021 als erste deutsche Chlor-Alkali-Elektrolyse ‚grünen‘ Wasserstoff zu produzieren.³⁸

37 Walther Rathenau war von 1894 bis 1907 Geschäftsführer der Elektrochemischen Werke und leitete die Fusion mit der benachbarten Chemischen Fabrik Griesheim. Beide Betriebe widmeten sich der Chloralkalielektrolyse, einem Verfahren zur Gewinnung von Chlor, Wasserstoff und Natronlauge aus Natriumchlorid („Kochsalz“) und Wasser. Die Produktion wird heute vom niederländischen Bergbau- und Chemiekonzern Nobian fortgeführt. Weitere Großbetriebe der anorganischen Chemie in Bitterfeld-Wolfen sind: Evonik (Chlorsilane), Clariant (Zeolithe), IBU-tec (Metalloxide).

38 www.nobian.com/careers/our-sites-offices/nobian-in-bitterfeld, abgerufen am 28.01.2025

Table 1.2: Unternehmen der Chemieindustrie im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022

Firma	Beschäftigte	Umsatz
Dow Olefinverband (Konzern) • Werk Schkopau • Werk Böhlen • Werk Leuna • Werk Bitterfeld-Wolfen	*3.500 k.A. k.A. k.A. k.A.	*3.350 k.A. k.A. k.A. k.A.
Verbio SE (Konzern), Zörbig	1.180	1.973
SKW Stickstoffwerke Piesteritz	*821	*1.476
Linde Gas Leuna	*500	k.A.
Domo Caproleuna, Leuna	435	729
Solvay, Bernburg	*392	k.A.
Bell Flavors & Fragrances, Miltritz	301	52
AIR LIQUIDE Deutschland, Böhlen	k.A.	k.A.
Radici Chimica Deutschland, Elsteraue	189	208
IPT Pergande, Weißandt-Görlau	186	k.A.
LEUNA-Harze, Leuna	185	233
Deutsche Hydrierwerke Rodleben	161	95
IAB Ionenaustausch. Bitterf. [Lanxess]	k.A.	k.A.
IBU-tec advanced materials, Bitterfeld	147	16
Indulor Chemie, Bitterfeld-Wolfen	142	19
Shell Catalysts & Technologies Leuna	138	129
Budich Produk. u. Contr., Wittenberg	143	*11
Vantage Leuna	120	93
Nouryon Chemicals, Wurzen	k.A.	k.A.
MinAscent Leuna Production, Leuna	111	45

Louis Dreyfus Company Wittenberg	107	65
Innospec Leuna	106	84
Evonik Smart Materials, Bitterfeld-W.	k.A.	k.A.
TRINSEO Deutschland, Werk Schkopau	100	158
Nobian, Bitterfeld-Wolfen	*100	k.A.
WeylChem Organica, Bitterfeld-W.	92 #	17
LAT Nitrogen Piesteritz	91	152
Omnisal, Wittenberg	91	23
Münzing EC/Münzing MT, Elsteraue	k.A.	k.A.
Clariant Produkte (Dtd.), Bitterfeld-W.	k.A.	k.A.
Taminco Germany (Eastman), Leuna	74	159
PCW, Elenburg	k.A.	k.A.
ICL-IP Bitterfeld	73	85
BNT Chemicals, Bitterfeld-Wolfen	69	38
CropEnergies Bioethanol, Zeitz	k.A.	k.A.
DAW, Werk Köthen	k.A.	k.A.
PQ Germany, Wurzen	57	52
UPM Biochemicals, Leuna	57	5
frunol delicia, Delitzsch	51	k.A.
Glaconchemie, Merseburg	51	46
MOLYMET Germany, Bitterfeld-W.	50	47

* Nicht durch das Unternehmensregister verifizierbare Angabe des Datenlieferanten.

Eigene Hochrechnung aufgrund indirekter Angabe im Jahresabschluss.

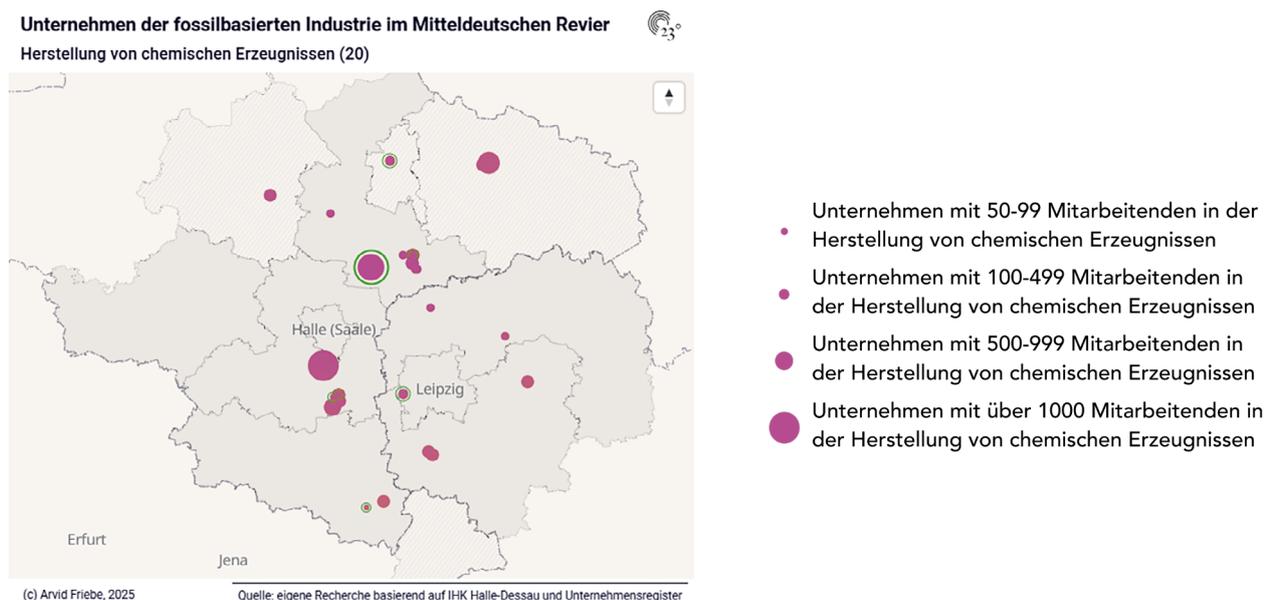


Abb. 1.3: Lage der Unternehmen der Chemieindustrie im Mitteldeutschen Revier

Die Unternehmen der Chemieindustrie finden sich in den Chemieparks, wo besonders die Grundstoffchemie geeignete Versorgungsbedingungen erfährt. Sofern für den Produktionsablauf günstig und wirtschaftlich einträglich, siedeln sich hier auch die Weiterverarbeiter dieser Grundchemikalien an („Hinterlieger“). Hersteller chemischer Spezialitäten, die auch kleine Mengen wirtschaftlich auskömmlich produzieren können, sind standortunabhängiger, und haben sich tw. außerhalb der Parks mitunter sogar (historisch) in städtischer Umgebung angesiedelt.

Was für die Chemieindustrie im Mitteldeutschen Revier bezüglich der Unternehmensgrößen gilt, gilt auch für die **Pharmaindustrie**: Die großen Unternehmen der Branche haben ihren Sitz in Sachsen-Anhalt: Nur 11 Pharmaunternehmen mit mehr als 50 Beschäftigten zählte das Statistische Landesamt im Jahr 2022 im ganzen Bundesland, aber sie beschäftigten fast 5.100 Männer und Frauen und erwirtschafteten mehr als 2 Mrd. Euro Umsatz. In Sachsen waren es mehr Unternehmen (26), jedoch weniger Beschäftigte (knapp 3.900) mit 1 Mrd. Euro Umsatz, in Thüringen 15 Betriebe mit knapp 1.800 Beschäftigten und 360 Mio. Euro Umsatz.³⁹ Sechs Unternehmen dieser Branche sind in der Untersuchungsregion ansässig, sämtlich auf dem Territorium des Landes Sachsen-Anhalt.

Der wohl bekannteste medizinische Wirkstoff kommt von einem großen Namen der Pharmaindustrie, aber nicht aus dem größten pharmazeutischen Werk Sachsen-Anhalts: Die Bayer AG stellt im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen Aspirin-Tabletten her.⁴⁰ Ebenfalls in Bitterfeld-Wolfen hat sich die Chemische Fabrik Berg als Auftragsfertiger aktiver pharmazeutischer Wirkstoffe und einiger komplexer Stickstoffverbindungen etabliert. Das dominierende Pharmaunternehmen im Mitteldeutschen Revier ist IDT Biologika in Dessau mit fast 1.900 Beschäftigten, wobei in die Zählung auch die Beschäftigten im Forschungs- und Entwicklungslabor in Magdeburg, also außerhalb des Reviers eingeflossen sein dürften. Das Unternehmen bezeichnet sich als weltweit tätiges biopharmazeutisches Auftragsentwicklungs- und Produktionsunternehmen mit Spezialisierung auf Impfstoffe, Zell- und Gentherapie.

³⁹ s. Fn. 8

⁴⁰ Der Wirkstoff Acetylsalicylsäure („ASS“) ist ein Derivat der Benzoesäure, also letztlich ein auf einem Benzolring aufbauendes Molekül. Der Handelsname „Aspirin“ wurde übrigens vom Oberarzt des Diakonissenkrankenhauses Halle (Saale), Kurt Witthauer, geprägt. Er publizierte 1899 die erste klinische Studie über die Anwendung des Präparates.

Ebenfalls in Dessau ansässig ist Oncotec Pharma, ein weltweit tätiger Hersteller und Entwickler aseptisch produzierter Zytostatika⁴¹. Die zum Dermapharm-Konzern gehörende mibe Arzneimittel fertigt im kleinen Brehna unweit der Städte Halle (Saale) und Leipzig Medizinprodukte, aber auch Kosmetika und Nahrungsergänzungsmittel. Das in Bernburg ansässige Serumwerk befindet sich heute in Familienbesitz und führt einerseits die Produktion bekannter Arzneimittel der DDR weiter⁴², andererseits widmete es sich eigenen Angaben zufolge in den letzten Jahren der Entwicklung eigener Produkte, darunter auch auf Basis natürlicher Biopolymere.⁴³

Tabelle 1.3: Unternehmen der Pharmaindustrie im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022

Firma	Beschäftigte	Umsatz
IDT Biologika, Dessau	*1.850	*324
Bayer Bitterfeld, Bitterfeld-Wolfen	490	103
mibe Arzneimittel, Brehna	467	362
Serumwerk Bernburg, Bernburg	394	75
Oncotec Pharma Produktion, Dessau	318	44
Chemische Fabrik Berg, Bitterfeld-W.	90	39

*Nicht durch das Unternehmensregister verifizierbare Angabe des Datenlieferanten

41 Zellwachstumshemmer, die u. a. zur Krebstherapie eingesetzt werden.

42 u. a. Pulmotin®-Erkältungssalbe, Pyolysin®-Wund- und Heilsalbe und Parodontal®-Mundsalbe

43 www.serumwerk.com/unternehmen/daten-fakten, abgerufen am 28.01.2025

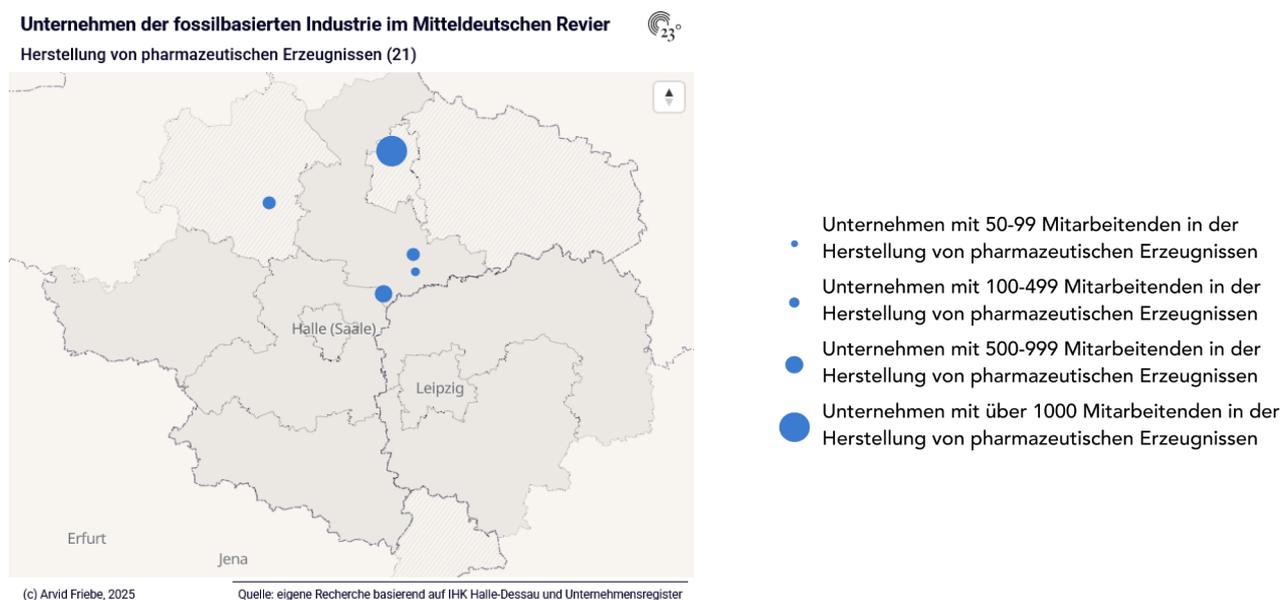


Abb. 1.4: Lage der Unternehmen der Pharmaindustrie im Mitteldeutschen Revier
Die Pharmaindustrie ist eine wissenschaftsabhängige Industrie und siedelt sich daher eher in städtischer Nähe an. Mitunter sind ehemals wissenschaftliche Einzeleinrichtungen Ursprung heutiger Pharmaunternehmen, daher streuen die Markierungen.

Konzentriert sich die Chemieindustrie stark auf das sogenannte Chemiedreieck vornehmlich im Bundesland Sachsen-Anhalt, so ‚streut‘ die kunststoffverarbeitende Industrie weiter ins Umland. Das ist nicht verwunderlich, da die Kunststoffverarbeiter weniger als ihre ‚Vorlieger‘ aus der Chemieindustrie auf ein professionelles Bündel an Infrastrukturleistungen⁴⁴ angewiesen sind. 2022 waren laut den Erhebungen der statistischen Landesämter in Sachsen-Anhalt 98 Betriebe mit mehr als 50 Beschäftigten gemeldet, in Sachsen 165 und in Thüringen sogar 177. Im Untersuchungsgebiet konnten 30 Unternehmen dieser Branche identifiziert werden. Die Herstellung zweier Produktgruppen ist vorherrschend: die Produktion von Folien (für Verpackungszwecke) und die Herstellung von Bauelementen (Fenster, Türen und Automobilausstattung).

In der Folienherstellung ist der nach Beschäftigtenzahl und Umsatz größte Betrieb im Revier die Firma Polifilm Extrusion. Am Standort Weißandt-Görlau führt sie einen Betrieb aus DDR-Zeiten weiter. Hier werden vor allem Polyethylen- und Polypropylen-Folien erzeugt. In diesem Metier ist auch das Folienwerk Wolfen tätig. Manupackaging hat sich auf industrielle und landwirtschaftliche Anwendungen spezialisiert.

Das Unternehmen Polymer-Technik Elbe stellt Kunststoffbauteile vor allem für die Automobilbranche aber auch für industrielle Anwendungen her. Im Bereich der Bauelemente ist hingegen die Firma Schüco führend. Der in Deutschland bekannte Hersteller von Kunststoff-Fenstern und -Türen betreibt in Weißenfels ein großes Werk. In diesem Segment sind auch die Firmen Moderne Bauelemente mit Sitz in Bernburg sowie die Schwesterbetriebe Pax Fenster und Pax Türen in Rositz tätig. Bodenbeläge aus Kunststoff kommen von der Firma Altro aus Dessau-Roßlau und Wärmedämmungen von Ravago Building Solutions aus Schkopau. Demgegenüber widmet sich die Firma EXTE in Nienburg

⁴⁴ Elektrizität, (Hochdruck-) Wärme, (Industrie-) Wasserversorgung, Kühlwasserversorgung, Abwasserentsorgung, Logistik.

überwiegend der Produktion von Fassaden- und Bau-Außenelementen. Die Firma NOVO-TECH war einer der ersten Hersteller sogenannter Wood-Plastic-Composites; in Aschersleben produziert das Unternehmen Terrassendielen und Fassadenelemente, die Unternehmensangaben zufolge bis zu 75 % Naturfasern enthalten.

Tabelle 1.4: Unternehmen der kunststoffverarbeitenden Industrie im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022

Firma	Beschäftigte	Umsatz
POLIFILM EXTRUSION, Weißandt-G.	*789	*752
Schüco PWS, Weißenfels	*508	*282
Polymer-Technik Elbe, L.St. Wittenberg	373	141
moderne bauelemente, Bernburg	*226	*12
EXTE, Nienburg	208	62
NOVO-TECH Circular, Aschersleben	159	43
PaX Fenster/PaX Türen, Rositz	151	k.A.
Folienwerk Wolfen, Bitterfeld-Wolfen	140	44
Altro Deutschland, Dessau-R.	139	21
Manupackaging Dtl., Schkopau	132	107
Ravago Building Solutions, Schkopau	110	110
Nittel Halle	*96	*12
IKA Innov. Kunstst.aufb., Bitterfeld-W.	93	51
LÄTZSCH Kunststoffverarb., Kitzscher	93	8
Island Polymer Ind., Bitterfeld-Wolfen	82	23
FINSTRAL, Werk Altenburg	k.A.	k.A.
KTS Kunststoff Technik Schmölln	79	11
Polycasa Nischwitz, Thallwitz	73	38
Markus Birner Kunstst.tech., Schmölln	73	10
Bänninger Rohrleitg.systeme, Staßfurt	72	13
SÖBA Fenster u. Türen, B. Schmiedeberg	67	*10
Röchling Industrial Lützen	*64	*9
Kubra Ind.- u. Kunstst.tech., O.-Wörlitz	62	*5
F.I. Schmölln	59	k.A.
FVK-Faserverstärkte Kunstst., Dessau	58	*5
Westlake Compounds, Eilenburg	56	36
Gummiwerk Meuselwitz	53	k.A.
Salux, Sangerhausen	52	k.A.
HaWi-Tec, Landsberg	51	k.A.
AGRODUR Kunststofftechnik, Lützen	*50	*6

*Nicht durch das Unternehmensregister verifizierbare Angabe des Datenlieferanten.

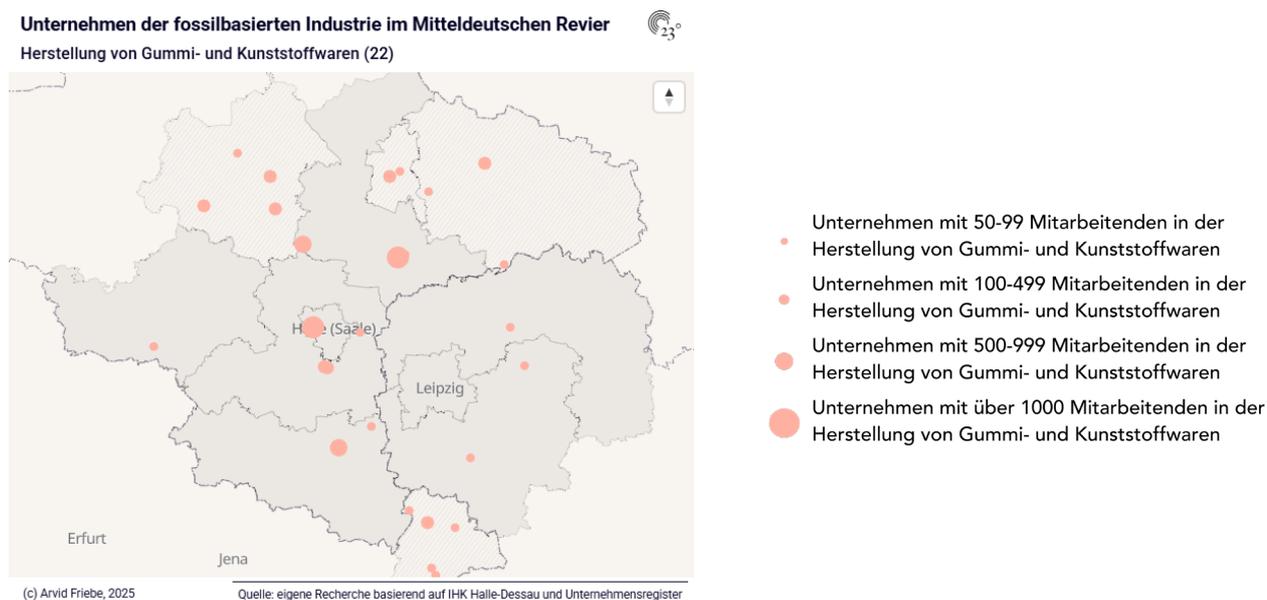


Abb. 1.5: Lage kunststoffverarbeitenden Industrie im Mitteldeutschen Revier
Die kunststoffverarbeitenden Betriebe verfügen in der Regel über weniger Beschäftigte als die Chemie- und die Pharmaindustrie. Auch sind sie standortunabhängiger, da für die Verarbeitung von Kunststoff im Wesentlichen einzig Elektrizität als Massenmedium benötigt wird. Für die Kunststoffverarbeiter spielt, sofern es sich um neue Werkerrichtungen handelt, die Verkehrserschließung eine wichtige Rolle, da Verpackungsmaterial zu den Kunden verbracht werden muss. Historisch gingen einige Kunststoffverarbeiter aus holzverarbeitenden Betrieben hervor (Fenster, Türen etc.), weshalb die Verbreitung kunststoffverarbeitender Betriebe regional stark streut.

Die **Hersteller von Zement, Kalk und gebranntem Gips** sind zwar nicht unmittelbar in die Wertschöpfungskette der kohlenstoffbasierten Industrie eingebunden, dennoch nehmen sie einerseits einige Reststoffe aus der Mineralölerzeugung und der Chemieindustrie für eigene Produktionszwecke auf und setzen produktionsbedingt im Rohstoff gebundenes Kohlendioxid frei. Das Salzbergwerk von K+S in Bernburg ist ein wichtiger Lieferant für die Hersteller anorganischer Chemikalien vor allem im Chemiepark Bitterfeld. Schwenk Zement, ein in Familienbesitz befindliches, international tätiges Unternehmen, produziert in Bernburg rund 1 Mio. t Zement u. ä. Produkte pro Jahr. Die Thomas-Gruppe übernahm kürzlich das 1930 gegründete Zementwerk in Karsdorf. Der in Deutschland bekannte Gipshersteller Knauf betreibt in Rottleberode ein Werk. Der französische Bergbaukonzern Imerys führt die traditionsreiche „Elektroschmelze“ in Zschornowitz weiter, wo Aluminiumoxid⁴⁵ für die Weiterverarbeitung in verschiedenen Industrien hergestellt wird. Zahna-Fliesen nahe Wittenberg ist ein typischer Hersteller von Feinsteinzeug. Der Stuttgarter Familienkonzern Paul Bauder stellt in Landsberg bei Halle (Saale) Bitumenbahnen sowie weitere Dachabdichtungen her.

Tabelle 1.5: Unternehmen der Zement- und Baustoffindustrie im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022

Firma	Beschäftigte	Umsatz
K+S Minerals and Agriculture, Bernbg.	*517	*727
Schwenk Zement, Bernburg	k.A.	k.A.
thomas zement, Karsdorf/Leipzig	208	k.A.
IMERYS ZSCHORNEWITZ, Gräfenhain.	197	72
Knauf Integral, Rottleberode	k.A.	k.A.
Paul Bauder, Landsberg	k.A.	k.A.
Zahna-Fliesen, Zahna	82	11

*Nicht durch das Unternehmensregister verifizierbare Angabe des Datenlieferanten.

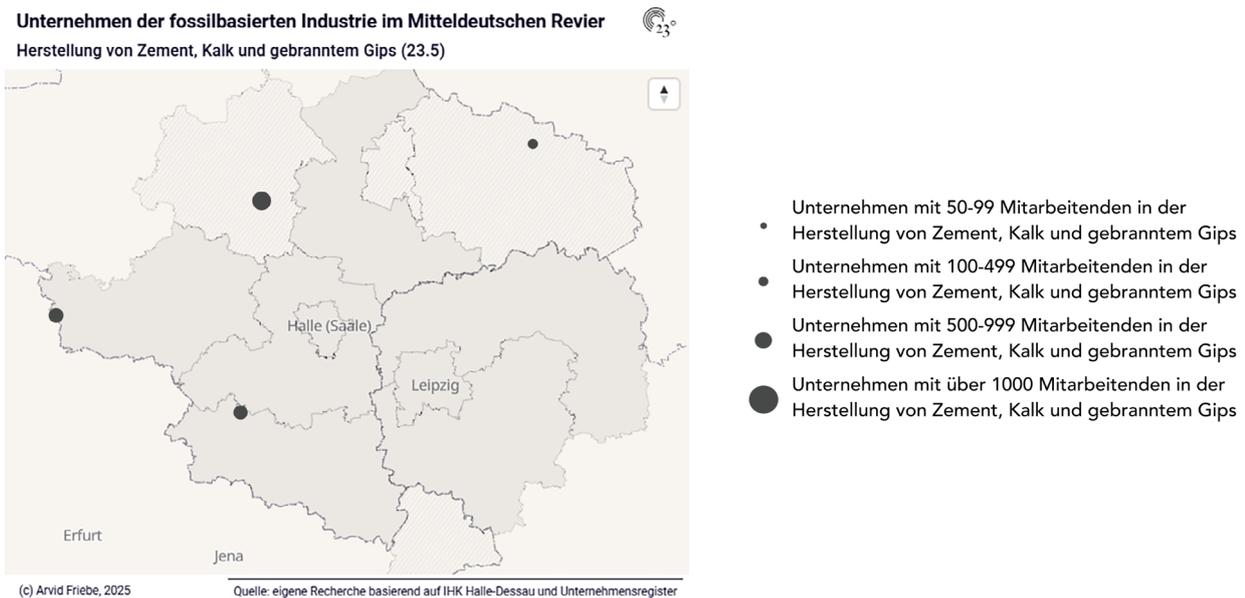


Abb. 1.6: Lage der Zement- und Baustoffindustrie im Mitteldeutschen Revier
Die Betriebe der Baustoff- und Zementindustrie sind historisch an den regionalen Vorkommen ihrer Rohstoffe angesiedelt. Lediglich modernere Werke wurden an in der Regel eher logistisch gut gelegenen, eher ländlichen Regionen angesiedelt. Denn Zement- und Beton-(bau-)teile müssen in der Regel über lange Transportstrecken zu den Kunden verbracht werden.

Auch die metallherzeugende Industrie gehört zu den energieintensiven Wirtschaftszweigen, und sie ist in allen drei mitteldeutschen Bundesländern von Bedeutung. In Thüringen zählte das Statistische Landesamt 2022: 130 Unternehmen des Metiers mit mehr als 9.000 Beschäftigten, in Sachsen 59 Unternehmen mit mehr als 10.000 Beschäftigten und in Sachsen-Anhalt 41 Unternehmen mit mehr

als 7.000 Beschäftigten. Auffällig ist, dass die thüringischen Betriebe deutlich mittelständischer geprägt sind und im Durchschnitt nicht einmal halb so viele Mitarbeiter zählen wie ihre Pendanten in Sachsen und Sachsen-Anhalt. Im Untersuchungsgebiet konnten 25 Unternehmen der metallherstellenden Industrie mit mehr als 50 Beschäftigten identifiziert werden. Verbreitet sind vor allem Hersteller von Eisen- und Stahl- sowie von Leicht- und Buntmetallprodukten.

In der Verarbeitung von Eisen ist die Westfälische Drahtindustrie mit einem Werk in Rothenburg tätig, wo Eisen- und Stahldrahtprodukte produziert werden, bis hin zu Freileitungsseilen für Elektrizitätsstrassen. Die 1904 gegründete Eisengießerei in Meuselwitz ist heute ein Anbieter von Gussteilen für verschiedene Zweige des Maschinenbaus, auch für Gas- und Dampfturbinen sowie Windkraftanlagen. Das 1910 gegründete Flanschenwerk Bebitz produziert Flansche, Ringe und Schmiedeteile. Die in Jessen ansässige Feintool System Parts spezialisiert sich hingegen in der Metallbearbeitung von Elektromotorkomponenten. Die traditionsreiche Gießerei in Zeitz wurde 2007 von der mittelständischen Silbitz-Gruppe übernommen; hier werden vornehmlich Großgussteile für die Windkraft- und Energietechnik sowie den Maschinenbau gefertigt. Im Bereich des Stahlwasserbaus ist u.a. die traditionsreiche RSW Roßlauer Schiffswerft tätig. Die in der Regelungstechnik tätige Firmengruppe Raab betreibt in Zeitz ein eigenes Produktionswerk.

NE-Metalle: Der US-amerikanische Aluminiumspezialist Novelis übernahm ein aus DDR-Zeiten überkommenes Werk in Nachterstedt, wo heute Aluminiumwalzprodukte und Aluminium-Walzbarren aus recyceltem Material hergestellt werden. Die HMT Höfer Metall Technik produziert am Standort Hettstedt Aluminiumlegierungen. KME führt die regional bedeutende Veredelung von Kupfer des einstigen Mansfelder Kupferkombinats am Standort Hettstedt fort. Dort fertigt die KME Drähte, Bänder, Rohre, Stangen und Bleche aus Reinkupfer und im mit ihr verbundenen Unternehmen KM Copper Bars Kupferstangen und -profile. Die Firma Elcowire formt das Kupfer, ebenfalls in Hettstedt, zu Leitungen und Kabeln für diverse industrielle Anwendungen.

Tabelle 1.6: Unternehmen der metall erzeugenden und -verarbeitenden Industrie sowie des Kesselbaus im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022

Firma	Beschäftigte	Umsatz	Firma	Beschäftigte	Umsatz
Novelis Deutschland, Seeland	*859	*1.240	Gustac Wolf Drahtseilerei, Nebra (U.)	k.A.	k.A.
KME Mansfeld, Hettstedt	851	815	GSF - Gießerei Staßfurt	*68	*8
Westfälische Drahtindustrie, Wettin-L.	*372	*127	Elcowire Rail, Hettstedt	67	78
MEUSELWITZ GUSS Eisengießerei	334	70	Hydro Aluminium Gießerei Rackwitz	75	183
HMT Höfer Metall Technik, Hettstedt	345	84	Slim Merseburg	63	*7
Elcowire, Hettstedt	191	162	Wirth, Landsberg	*65	*11
Feintool System Parts Jessen	k.A.	k.A.	Butting Könnern	62	19
ZGG - Zeitzer Guss	*165	*42	Köthener Eisenwerk	*60	*4
RSW Roßlauer Schiffswerft	k.A.	k.A.	Gestaguss-GEW Edelstahlg., Wetterz.	57	k.A.
KM Copper Bars, Hettstedt	*121	*92	AURA Technologie, Helbra	53	12
J. Raab, Zeitz	*111	*14	HAL Aluminiumguss Bitterfeld	50	4
Flanschenwerk Bebitz, Könnern	104	32	Woodward Aken	k.A.	k.A.
EMK Allstedt	96	*12	VKK Standardkessel Köthen	90	18

*Nicht durch das Unternehmensregister verifizierbare Angabe des Datenlieferanten.

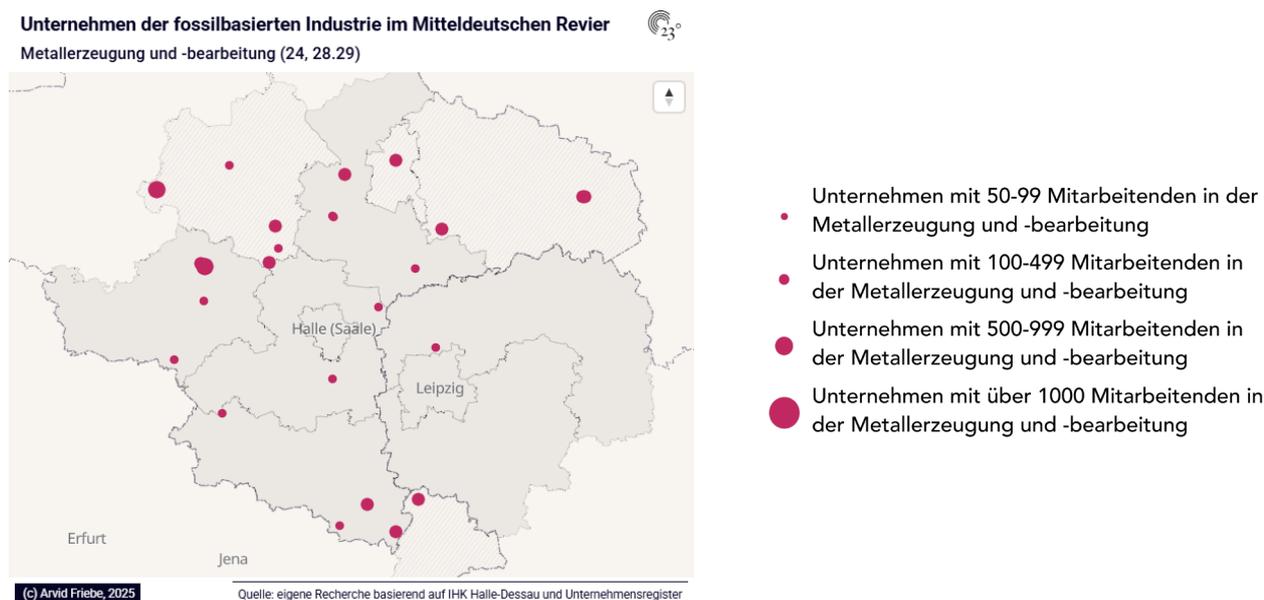


Abb. 1.7: Lage der metallerzeugenden und -verarbeitenden Industrie im Mitteldeutschen Revier
Auch die metallerzeugenden und -verarbeitenden Betriebe siedeln eher in der Nähe ihrer Rohstoffvorkommen und sind daher eher außerhalb der urbanen Zentren zu finden.

Die Betriebe der **Rückgewinnung** und des **Recyclings** werden auf dem Weg der ‚Defossilisierung‘ eine wichtige Rolle spielen. Denn wenn es gelingt, einen großen Teil des fossil-basierten Kohlenstoffes in einem ‚ewigen‘ Zyklus zu halten, kann er nicht in die Atmosphäre gelangen. Im Untersuchungsgebiet sind einige bedeutende Unternehmen des Kunststoffrecyclings vertreten. Es mag auf den ersten Blick überraschen, dass in einem Gebiet, wo so große Mengen an Kunststoff entstehen, nur eine überschaubare Zahl an Kunststoffrecyclern ansässig ist. Wenn man berücksichtigt, dass allerdings deutschlandweit etwa 25 Prozent der Kunststoffe für die Produktion von Verpackungen eingesetzt werden⁴⁶, und dass diese in der Regel am Ort des Verbrauchs entsorgt werden, überrascht die Dezentralität der Recyclingbranche kaum. Im Untersuchungsgebiet konnten 13 Betriebe der Rückgewinnung und des Recyclings identifiziert werden.

Texplast, ein Tochterunternehmen der österreichischen ALPLA-Gruppe, recycelt im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen PET-Flaschen zu jährlich rund 37.000 t wiederverwendbarem PET-Granulat.⁴⁷ In diesem Marktsegment ist auch die kleinere REMONDIS PET Recycling Ost mit Sitz im Chemie- und Industriepark Zeitz tätig. Die 2008 in Merseburg von einem ehemaligen BASF-Manager⁴⁸ gegründete und seit 2024 zum niederländischen Chemiegroßkonzern LyondellBasell gehörende APK ist ein Pionier des sogenannten chemischen Recyclings. Mittels Lösemittel werden Kunststoffverbände voneinander getrennt und zu teilweise hochreinen LDPE⁴⁹-Recyclaten verarbeitet. Die zum französischen Veolia-Konzern gehörende Multiport und ihr Schwesterunternehmen MultiPet bilden in Bernburg nach Angaben des Unternehmens einen der größten Kunststoffaufbereitungs komplexe

46 Conversio Market & Strategy GmbH: „Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2021: Zahlen und Fakten zum Lebensweg von Kunststoffen“, Mainaschaff 2022, S. 17

47 Das Bitterfelder Werk ging aus der Filmwäscherei der ehemaligen Filmfabrik ORWO hervor.

48 Dr. Wolfgang Ludwig Lindner starb 2024. Vgl. www.apk.group/nachruf-dr-lindner, abgerufen am 29.01.2025

49 Low-Density-Polyethylene, also einer Variante des Ethylen-Polymeren.

Europas; dort werden jährlich rund 70.000 Tonnen HDPE⁵⁰-Granulate zurückgewonnen.

Der US-amerikanische Stahl- und Aluminiumkonzern Befesa betreibt in Bernburg ein Werk zum Recycling von bis zu 75.000 t Aluminium pro Jahr. Die MUEG mit Sitz in Braunsbedra konzentriert sich dagegen auf das Recycling von Industrie-, insbesondere Kraftwerksabfällen sowie des Recyclings von Bauabfällen und Böden.

Tabelle 1.7: Unternehmen der Rückgewinnung (des Recyclings) im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022

Firma	Beschäftigte	Umsatz
MUEG, Braunsbedra	219	51
TEXPLAST, Bitterfeld-Wolfen	123	54
REMONDIS Mitteldtld., Weißenfels	*117	*23
MDSE, Bitterfeld-Wolfen	95	34
APK, Merseburg	*90	*8
Befesa Aluminium, Bernburg	83	106
Multiport, Bernburg	72	27
REMONDIS PET Recycl. Ost, Elsteraue	k.A.	k.A.
Dohmann Textilverwertung Wolfen	*62	*5
GSG, Helbra	60	k.A.
Lauer ecotec, Schkopau	53	k.A.
MultiPet, Bernburg	51	22
Wolfener Recycling, Bitterfeld-Wolfen	50	7

**Nicht durch das Unternehmensregister verifizierbare Angabe des Datenlieferanten.*

50 High-Density-Polyethylene, also einer weiteren Variante des Ethylen-Polymer.

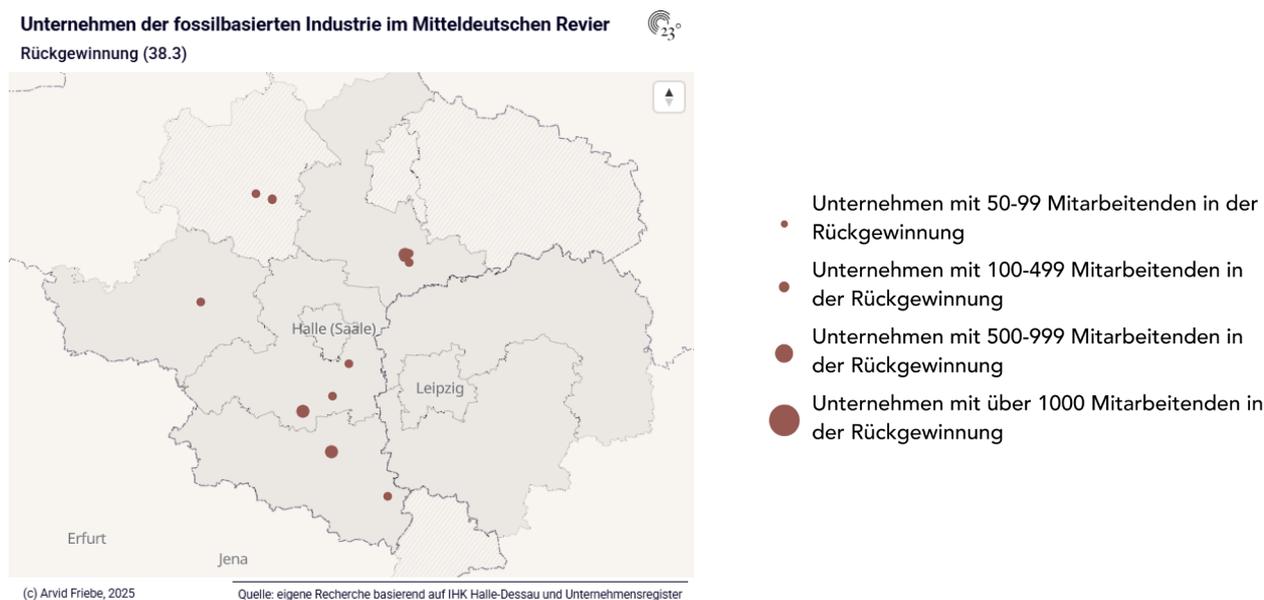


Abb. 1.8: Lage der Rückgewinnung (des Recyclings) im Mitteldeutschen Revier

Die Rückgewinnung (Recycling) ist eine recht junge Branche. Bisweilen wird sie angefeindet, da häufig mit verunreinigtem Material gearbeitet werden muss, mitunter zu Geruchsbelästigung führt. Daher siedeln sich die Recyclingbetriebe vornehmlich außerhalb der urbanen Zentren in Industrieparks, zumindest in der Nähe geeigneter Abwasserwerke an, da die Vorreinigung des Materials häufig mit Spülvorgängen einhergeht.

Zum ‚Ökosystem‘ der fossilbasierten Industrien gehören *last but not least* auch der **Chemikalien- und Pharmaziehandel** sowie das **Transportgewerbe**. Die Branche ist sehr heterogen, was die Größe der Unternehmen angeht, und sie orientiert sich stark an exzellenten logistischen Gegebenheiten – Deutschlands größter Chemikalienhändler, die Helm AG, hat seinen Sitz vermutlich auch deshalb in Hamburg, weil dort eine gute Straßen- und Schienenanbindung auf einen der weltweit größten Überseehäfen trifft. ‚Land-locked-sites‘, also Hinterlandstandorte ohne Wasserstraßenanbindung wie das Mitteldeutsche Revier, haben es daher schwerer, der fachspezifischen Logistikbranche gute Standortargumente zu liefern. Immerhin aber liegen im Mitteldeutschen Revier die großen Erzeugungstätten nicht weit von der Doppelmetropole Leipzig-Halle entfernt. Mittels der Auswertung verschiedener Unternehmensdatenbanken konnten im Mitteldeutschen Revier 17 Unternehmen mit mehr als 50 Beschäftigten im Segment des chemiespezifischen Großhandels und Transportgewerbes identifiziert werden.⁵¹

Der niederländische Chemiegroßkonzern Akzo Nobel entwickelt, produziert und vertreibt in Leipzig Beschichtungsstoffe und Pigmentpräparationen. Die HPC Standards mit Sitz in Borsdorf bei Leipzig produziert und vertreibt analytische Standards für die Rückstandsanalytik. Aus der Unternehmenszentrale in Wittenberg heraus vertreibt der tschechische Agrarkonzern Agrofert unter anderem die im Stickstoffwerk Piesteritz hergestellten Produkte.

Die 1991 im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen gegründete TMG Spedition gehört mit 150 Zugmaschinen zu den regional führenden Transporteuren in Sachen Chemikalien und Gefahrstoffe und betreibt am

⁵¹ Weitere Branchen entlang der Logistik-Wertschöpfungskette wie der Fahrzeugbau mit Unternehmen wie Feldbinder in Wittenberg wurden in dieser Studie nicht betrachtet.

Standort ein Gefahrstofflager. Ähnliche Leistungen bietet Ehrlich Logistics mit Sitz in Wittenberg an. Die mit 65 Zügeinheiten etwas kleinere Spedition Schade Logistic mit Sitz in Jessen ist in der Lage, Kunststoffprodukte zu fahren und zu lagern. Demgegenüber bietet die Mitteldeutsche Kunststoff-Logistik nach eigenen Angaben einen Rundumservice für die Kunststoffindustrie von der Wareneingangskontrolle über das Abfüllen und Verpacken bis hin zu Warehousing, Versand und Lkw-Abfertigung. Mit ONTRAS und VNG sind in Leipzig gleich zwei regionale Größen des Erdgasnetzbetriebs und der Erdgasspeicherung (Bernburg und Bad Lauchstädt) vertreten. Der Agrodienst Jessen versteht sich als Kraftstoff- und Baustofflieferant für die Landwirtschaft.

Die Firma Kehr Holdermann beliefert als pharmazeutischer Großhändler von Dessau-Roßlau aus nach eigenen Angaben täglich rund 450 Apothekenkunden in Sachsen-Anhalt, Sachsen, Brandenburg und Berlin. Die Zur Rose Pharma in Halle (Saale) war einer der Pioniere unter den Versandapotheken und gehörte zuletzt der DocMorris-Gruppe an, musste aber 2024 den Betrieb einstellen.⁵²

52 www.apotheke-adhoc.de/nachrichten/detail/markt/docmorris-aus-fuer-zur-rose-in-halle, abgerufen am 29.01.2025

Tabelle 1.8: Unternehmen des Transport-, Logistik- und Lagerei-Gewerbes im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022

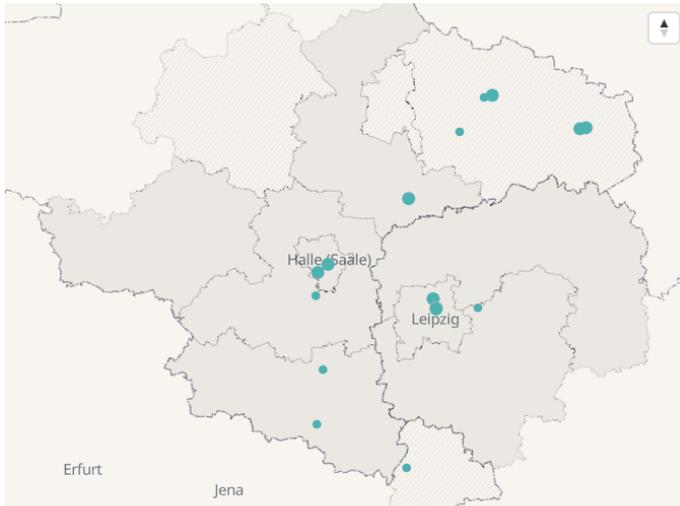
Firma	Beschäftigte	Umsatz
Akzo Nobel Powder Coatings, Leipzig	k.A.	k.A.
HPC Standards, Borsdorf	57	k.A.
Kehr Holdermann, Dessau-Roßlau [†]	k.A.	k.A.
Zur Rose Pharma, Halle (Saale)	110	40
Agrodienst Jessen	112	43
AGROFERT Deutschland, Wittenberg	73	474
Starkenberger Güterlog., Starkenberg	63	k.A.
TMG Spedition, Bitterfeld-Wolfen	308	30
Schade Logistic, Jessen (Elster)	*110	*10
Ehrlich Logistics, Wittenberg	103	15
Spedition Fuchs, Kemberg	60	*5
HELO Trucking, Weißenfels	57	k.A.
ONTRAS Gastransport, Leipzig	372	462
VNG Gasspeicher, Leipzig	102	98
Offengeld Logistik, Meineweh	k.A.	k.A.
MKL Mitteldt. Kunsts.-Log., Schkopau	k.A.	k.A.

[†] Das Unternehmen stellte den Betrieb Ende 2022 ein.

*Nicht durch das Unternehmensregister verifizierbare Angabe des Datenlieferanten.

Unternehmen der fossilbasierten Industrie im Mitteldeutschen Revier

Großhandel, Transport, Lagerei (46.xx, 49.50, 52.10)



- Unternehmen mit 50-99 Mitarbeitenden im Großhandel, Transport, Lagerei
- Unternehmen mit 100-499 Mitarbeitenden im Großhandel, Transport, Lagerei
- Unternehmen mit 500-999 Mitarbeitenden im Großhandel, Transport, Lagerei
- Unternehmen mit über 1000 Mitarbeitenden im Großhandel, Transport, Lagerei

(c) Arvid Friebe, 2025

Quelle: eigene Recherche basierend auf IHK Halle-Dessau und Unternehmensregister

Abb. 1.9: Lage der Unternehmen des Transport-, Logistik- und Lagerei-Gewerbes im Mitteldeutschen Revier
Transport-, Logistik- und Lagerei-Unternehmen legen großen Wert auf eine gute Verkehrsanbindung – je nach Spezifik kann das eine Autobahn/ ein Autobahnkreuz, ein Güterzug-Verladezentrum oder ein Flughafen sein. (Die mitteldeutschen Binnenhäfen spielen volkswirtschaftlich eine untergeordnete Rolle.) Logistische Prozesse sind zudem häufig personalintensiv. Daher findet sich die Mehrzahl der Logistikunternehmen in oder nahe den urbanen Zentren.

Wichtige Dienstleister für den Bau, den Betrieb und die Modernisierung industrieller Anlagen sind **Ingenieurbüros**. Typischerweise zählt der Beruf des Ingenieurs zu den freien Berufen, weshalb Ingenieurbüros selten die Gestalt größerer Unternehmen annehmen. Ein bedeutender ‚Player‘ dieses Meiters im Mitteldeutschen Revier ist jedoch die EDL Anlagenbau mit Sitz in Leipzig. Das Unternehmen wurde 1991 von Mitarbeitern des ehemaligen Chemieanlagenbaukombinats Leipzig-Grimma gegründet und gehört heute zur österreichischen Pörner-Gruppe. Der Gräfenhainicher Standort der SSS-Gruppe aus Essen beschäftigt sich mit der für die kohlenstoffbasierte Industrie so wichtigen Frage der Energietechnik. Das Ingenieurbüro IFF sieht seinen Schwerpunkt eher in der bergbaunahen Industrie. Das Büro IfUA erstellt umweltbezogene Gutachten, während der TÜV Nord Werkstoffprüfung anbietet und die Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Halle sich auf Dienstleistungen rund um die facharbeiterbezogene Aus- und Weiterbildung spezialisiert hat.

Tabelle 1.9: Ingenieurbüros im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022

Firma	Beschäftigte	Umsatz
TÜV NORD MPA, Leuna	k.A.	k.A.
SSS Energietechn. u. Netzserv., Gräfenh.	227	*24
EDL Anlagenbau, Leipzig	184	35
Schweißtech. Lehr- u. Versuchs., Halle	104	10
IfUA Umweltb. u. Gutachten, Bitterfeld	k.A.	k.A.
IFF Engineering u. Consulting, Leipzig	53	k.A.

*Eigene Hochrechnung aufgrund indirekter Angabe im Jahresabschluss.

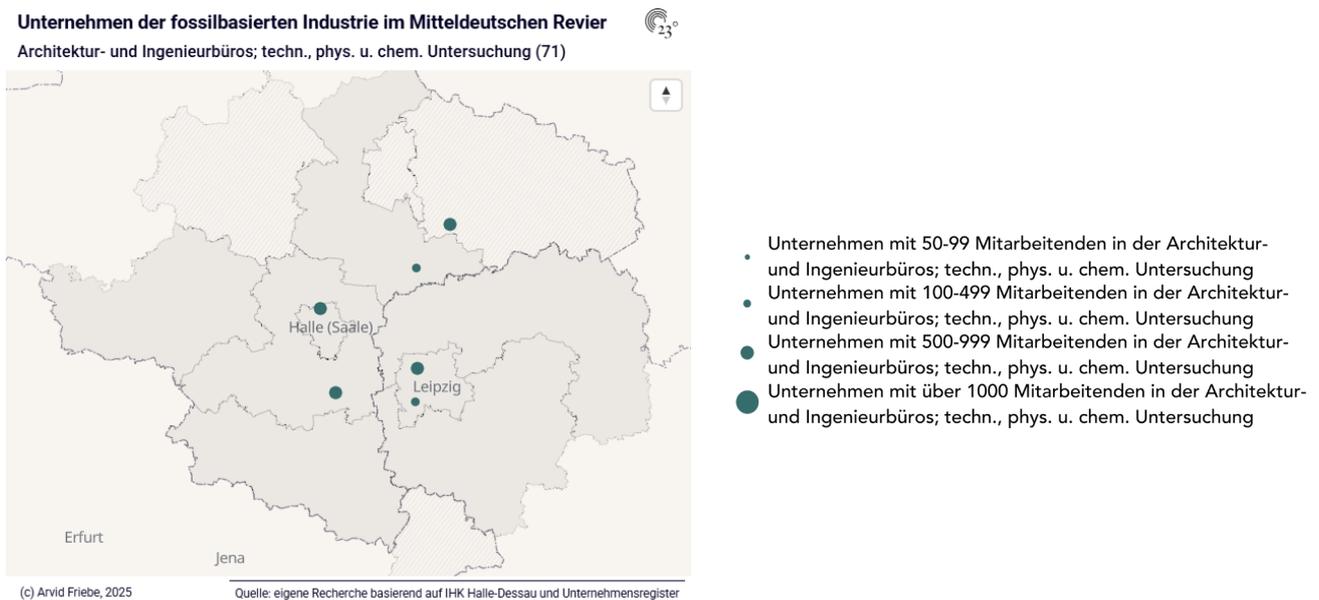


Abb. 1.10: Lage der Ingenieurbüros im Mitteldeutschen Revier
Ingenieurbüros haben in der Regel weniger als 50 Beschäftigte und siedeln sich überwiegend in urbanen Zentren an. Spezialisten zieht es in die Nähe der jeweiligen branchenspezifischen Kundschaft, weshalb große Büros vereinzelt auch in Industriegebieten bzw. Chemieparks zu finden sind.

Die **Biotechnologie** bringt Erkenntnisse aus Mikro-, Molekular- und Biochemie mit dem Erfahrungsschatz der Ingenieurwissenschaften und der Verfahrenstechnik zusammen. Die so generierten Produkte und Verfahren finden Anwendung in der Medizin, der Landwirtschaft und der Industrie. Im Halleschen Technologie- und Gründerpark Weinberg-Campus produziert das deutsche Chemie-Un-

ternehmen Wacker therapeutische Proteine und seit 2024 auch mRNA-basierte Wirkstoffe⁵³. Ebenfalls im Bereich der Biotherapeutika tätig, hat sich das 2005 in Halle (Saale) gegründete Unternehmen Navigo Proteins inzwischen als größerer Spezialist in diesem Bereich etabliert. Das Unternehmen c-LEcta mit Sitz in Leipzig hat sich auf die Entwicklung und die Produktion von Enzymprodukten spezialisiert.

Diesen Unternehmen bietet das Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse mit Sitz am Chemiestandort Leuna die testweise Produktion kleinerer Mengen und die Erprobung von Produktionsverfahren als **Forschungs- und Entwicklungspartner** an. Ein Spezialist in der chemischen Laboranalytik ist das US-amerikanische Unternehmen Bruker, das im Leipziger Wissenschaftspark Permoserstraße ansässig ist. Grundlagenforschung aber auch anwendungsbezogene Tests erbringt das dem Bundesministerium für Umwelt unterstellte Deutsche Biomasseforschungszentrum mit Sitz in Leipzig; Schwerpunkte der Arbeit sind Bioenergie und Bioökonomie. Als industrienaher Forschungseinrichtung versteht sich das Kunststoffzentrum Leipzig als Partner für anwendungsnahe Forschung und Entwicklung in Bezug auf kunststofftechnische Fragestellungen. Die Leipziger MFPA⁵⁴ hingegen prüft, entwickelt, überwacht, zertifiziert und begutachtet Baustoffe, Bauprodukte, Bauteile und Bauteile und ist damit ein wichtiger Partner für die Zulassung kunststoffbasierter Bauelemente.

Tabelle 1.10: Biotechnologie-Unternehmen und Forschungszentren im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022

Firma	Beschäftigte	Umsatz
Wacker Biotech, Halle (Saale)	*250	k.A.
e-LEcta, Leipzig	120	21
Navigo Proteins, Halle (Saale)	65	11
Fraunhofer CBP, Leuna	*50	k.A.
Dt. Biomasseforschungszentrum, Leip.	261	17
Bruker Optics, Leipzig	k.A.	k.A.
FEV Dauerlaufprüfzentrum, Brehna	k.A.	k.A.
MFPA, Leipzig	129	13
FEV eDLP, Sandersdorf	k.A.	k.A.
Kunststoff-Zentrum in Leipzig	60	k.A.
WIG2, Leipzig	54	k.A.

*Nicht durch das Unternehmensregister verifizierbare Angabe des Datenlieferanten.

53 Impfstoffe, die auf Ribonukleinsäure (engl. Abk.: RNA) beruhen. Sie gelangten im Zuge der Covid-19-Pandemie zu größerer Bekanntheit.

54 Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH

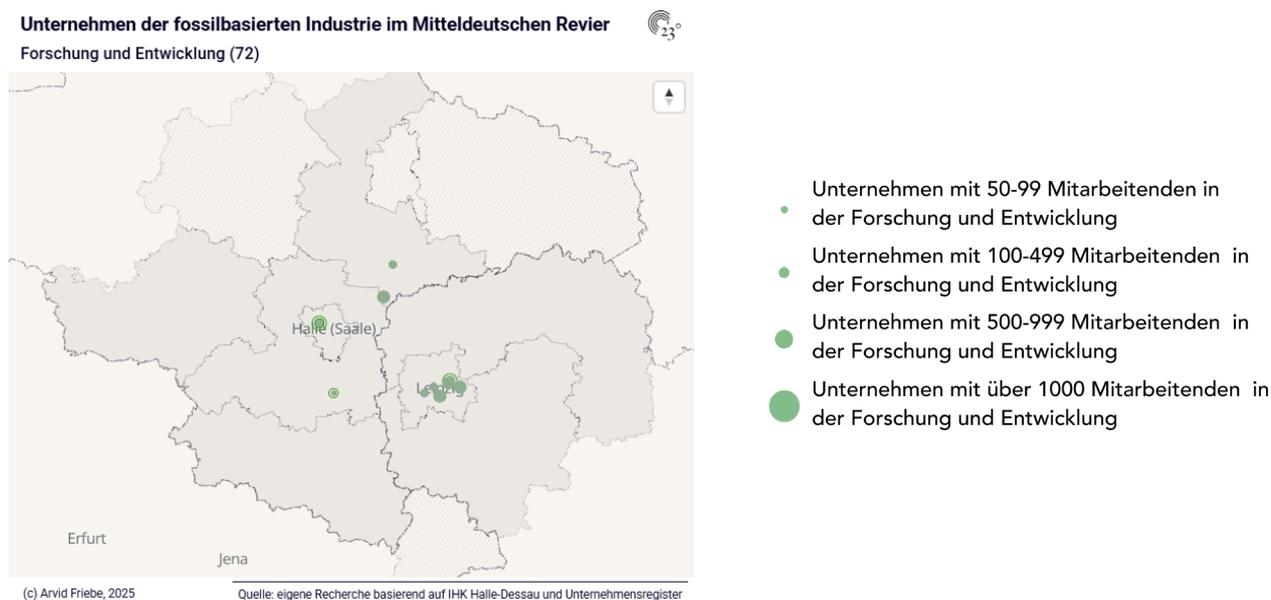


Abb. 1.11: Lage der Forschungszentren im Mitteldeutschen Revier

Forschungszentren sind humankapitalintensiv und daher auf eine urbane Umgebung mit entsprechender Hochschulausstattung angewiesen. Einige wenige spezialisierte Forschungszentren, häufig anwendungsbezogener Art, siedeln hingegen in industriell geprägter Umgebung, da sie auf entsprechende Ver- und Entsorgungsleistungen der Betreiber angewiesen sind.

Technologie- und Gründerzentren (TGZs) sollen technologieorientierte, möglichst innovative Unternehmensneugründungen und Jungunternehmen bei ihrem Wachstum helfen. Sie sind ein Instrument der Wirtschaftsförderung und können in Phasen wirtschaftlicher Transformation unterstützen. Gründerzentren stellen günstige und flexible Büroflächen zur Verfügung, mitunter auch Labor- und Lagerflächen; sie stellen Gemeinschaftsdienste zur Verfügung wie z. B. Veranstaltungsräume und Kantine, mitunter gar ein Gemeinschaftssekretariat; und sie stellen Kontakte her und vermitteln Wissen durch Workshops, Seminare, Tagungen. Im Mitteldeutschen Revier sind vier größere TGZs ansässig: die Bio City Leipzig, das Technologie- und Gründerzentrum Halle (Saale), das Technologie- und Gründerzentrum Bitterfeld-Wolfen sowie das Merseburger Innovations- und Technologiezentrum (MITZ).⁵⁵ Die Auslastung wird von allen vier Einrichtungen als gut beschrieben. Sowohl der Technologiepark Weinberg-Campus, der vom TGZ Halle betrieben wird, und bereits heute nach eigenen Angaben Deutschlands flächenmäßig größter Technologiepark ist, als auch der Bio City Campus Leipzig, der von BioCity betrieben wird, werden erweitert.⁵⁶ Der BioCity Campus beheimatet ganz überwiegend Unternehmen der Biotechnologie, u. a. das von der Bundesagentur SPRIN-D geförderte Start-up ena-Dyne, das Generatoren zur Umwandlung überschüssigen Kohlenstoffdioxids und Wasserstoffs in Kohlenwasserstoffe entwickelt. Am Weinberg-Campus Halle (Saale) sind pharmazeutische und biotechnologische Start-ups je etwa zur Hälfte vertreten (die umgebenden etablierten Ansiedler nicht gezählt). Im TGZ Bitterfeld-Wolfen streut die Branchenverteilung der Mieter zwar weiter; dort sind aber mit den Start-ups Sampochem und amynova polymers zwei interessante bioökonomische Unternehmen in der Gründung sowie mit Campo Amargo ein beachtenswertes Start-up im Bereich des Batterie-

⁵⁵ Die Vielzahl an stets auch noch neu entstehenden Co-Working-Spaces konnte hier nicht berücksichtigt werden.

⁵⁶ www.leipzig.de/newsarchiv/news/der-biocity-campus-leipzig-waechst-richtfest-fuer-den-ersten-bauabschnitt-des-biosquare-leipzig-gefeiert und <https://technologiepark-weinberg-campus.de/information-zum-baubeginn-erweiterung-innovation-hub>, jeweils abgerufen am 30.01.2025

cyclings. Mit der niederländischen Lithiumraffinerie AMG und dem estländischen Graphen-Hersteller SkeletonTech haben sich im TGZ Bitterfeld-Wolfen seit 2022 zwei weitere Technologie-Entwickler des postfossilen Zeitalters angesiedelt, die im Übergang von der Technikums- in die industrielle Umsetzungsphase stehen. Zusammen mit Start-ups wie FLD Technologies zeugen sie von den Potentialen des Standortes und von der Bedeutung der TGZs. Auch der Auftraggeber dieser Studie, das Forum Rathenau, ist im TGZ Bitterfeld-Wolfen ansässig.

Außerhalb der TGZs ist mit Turm in Dessau ein junges Unternehmen im Bereich der Aufbereitung oleochemischer Produkte tätig, und mit der Leaves That Are Green im kleinen Ilberstedt ein Start-up, das Reinigungsmittel auf biologischer Basis herstellen will. Das aus einem internationalen Universitätsforschungsprojekt hervorgegangene Start-up AlgaeCytes beabsichtigt in Dessau die Produktion von Algen für kosmetische und pharmazeutische Zwecke.

Für die regionale Entwicklung neuer Technologien und die Skalierung junger Unternehmen ist sicher auch die 2019 in Leipzig gegründete Bundesagentur für Sprunginnovationen (SPRIN-D) von großem Interesse, obgleich sich deren bisherige Tender auf die Bereiche Gesundheit, Energie, Abfallverwertung, Digitalisierung beschränkten.⁵⁷

Table 1.11: Nutzfläche (Büros, Labore, Werkstätten etc.) und Mieter in den TGZs des Mitteldeutschen Reviers, 2025

Firma	Nutzfläche	Mieter
Bio City Leipzig	20.000 +*10.000	49
TGZ Halle (Saale)	28.000 +*2.800	35
TGZ Bitterfeld-Wolfen	7.900	24
MITZ [I+II] Merseburg	5.000	28

*Erweiterungsgebäude im Bau

57 Die SRPIND GmbH wies laut Jahresabschluss 2022: 40 Beschäftigte aus und wird daher in dieser Auswertung definitionsgemäß nicht weiter berücksichtigt.

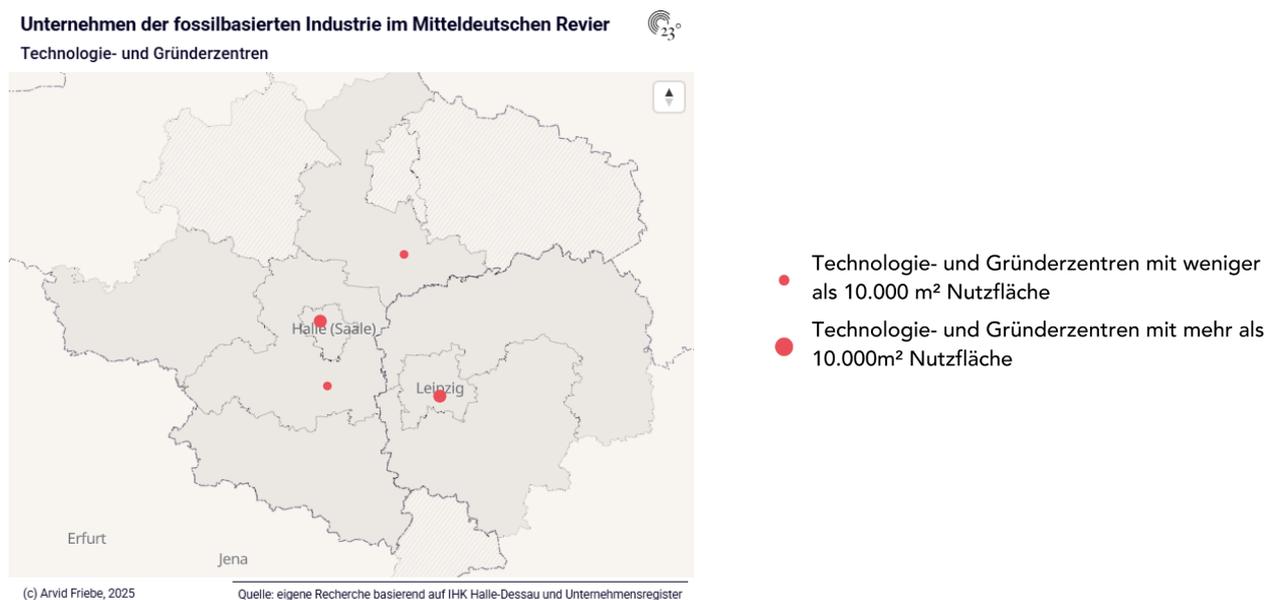


Abb. 1.12: Lage der TGZs im Mitteldeutschen Revier
In der Untersuchungsregion sind vier größere Technologie- und Gründerzentren (TGZs) aktiv. Die Zentren in Leipzig, Halle (Saale), Bitterfeld-Wolfen und Merseburg bieten jungen, technologieorientierten Unternehmen Büro- und Werkstatt Räume sowie andere Dienste.

Als Quintessenz wäre es von größtem Interesse, eine **Kohlenstoff-„Eröffnungsbilanz“** sowie eine Akteurs-Landkarte der Kohlenstoff- und generell der Stoffkreisläufe für die hier betrachtete Industrie im Mitteldeutschen Revier zu erstellen. Das übersteigt allerdings den Rahmen dieser Basisstudie, da hierfür detaillierte, regional abgegrenzte Daten erhoben und erstellt werden müssten. Aus der amtlichen Statistik wissen wir, dass das „verarbeitende Gewerbe“ (d. h. die Industrie) in den drei Bundesländern Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen 2021⁵⁸ knapp 24,8 Mio. t CO₂ emittierte, das sind etwa 38 Prozent der gesamten CO₂-Emissionen der drei Länder.⁵⁹

Immerhin lässt sich aus dem Europäischen Emissionshandelssystem EUTL erkennen, wie hoch diejenigen CO₂-Emissionen der hiesigen Industrie waren, die überwiegend bei der Energieerzeugung entstanden. Demnach emittierten die meldepflichtigen Industrieunternehmen des Mitteldeutschen Reviers im Jahr 2022 insgesamt knapp 8,1 Mio. t CO₂, mithin knapp 1/3 der gesamten industriellen CO₂-Emissionen der drei mitteldeutschen Bundesländer. Jeweils etwa ein Viertel davon entfiel allein auf die Mineralölraffinerie von TotalEnergies und auf SKW Piesteritz. Allein die fünf größten Emittenten vereinten 80 Prozent der gemäß EUTL gemeldeten Emissionen auf sich. Unter ihnen befinden sich mit der TotalEnergies-Raffinerie und dem Dow-Olefinverbund zwei regionalwirtschaftlich extrem bedeutende Unternehmen und mit SKW Piesteritz sogar ein deutschlandweit strukturbestimmendes Unternehmen. Das zeigt deutlich auf, welche Bedeutung in der Frage der Defossilisierung

58 Neuere Daten von 2022 liegen aktuell (Jan. 2025) nur für Sachsen-Anhalt vor.

59 Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt: „Statistischer Bericht: Energie- und Wasserversorgung. Energiebilanz Sachsen-Anhalt. Jahr 2022“, Halle (Saale) 2025, Tab. 6.6; Statistisches Landesamt Freistaat Sachsen: „Statistischer Bericht: Energie- und CO₂-Bilanzen

im Freistaat Sachsen 2021. E IV 6 - j/21“, Kamenz 2024, Tab. 4.2; Thüringer Landesamt für Statistik: „Statistischer Bericht: E IV - j / 21 Energiebilanz und CO₂ – Bilanz Thüringens 2021“, Erfurt 2024, Tab. 4. Das hier praktizierte Ins-Verhältnis-Setzen von Daten der Jahre 2021 und 2022 ist nicht ganz korrekt.

der hiesigen Industrie steckt: Finden diese Unternehmen keinen Entwicklungspfad hinsichtlich ihrer ‚Defossilisierung‘ und stellen sie den Betrieb ein, drohen nicht nur regionale Wertschöpfungsketten zu zerbrechen, sondern auch nationale und europäische.⁶⁰

Tabelle 1.12: Größte industrielle CO₂-Emittenten im Mitteldeutschen Revier gemäß EUTL (in tCO₂), 2022

Firma	CO ₂ -Emissionen
TotalEnergies Raffinerie, Leuna	1.909.041
SKW Stickstoffwerke Piesteritz	*1.836.093
Dow Olefineverbund, Schkopau	*1.157.585
thomas zement, Karsdorf	846.541
Schwenk Zement, Bernburg	769.653
CropEnergies Bioethanol, Zeitz	425.293
ROMONTA Holding, Amsdorf	416.760
MIBRAG, Kraftwerk Wühlitz	332.819
Novelis Deutschland, Seeland	116.506
Radici Chimica Deutschland, Elsteraue	83.285
Puralube Holding, Elsteraue	38.756
Verbio SE, Zörbig	35.916
Domo Caproleuna, Leuna	*32.197
ONTRAS Gastransport, Leipzig	*31.186
VNG Gasspeicher, Leipzig	*25.605
Hydro Aluminium Gießerei Rackwitz	18.990
LAT Nitrogen Piesteritz	17.030
KME Mansfeld, Hettstedt	8.852
TRINSEO Deutschland, Werk Schkopau	3.518
Zahna-Fliesen, Zahna-Elster	2.882

*Summe aus mehreren gemeldeten Einzelanlagen.

60 Der vermehrte Import russischen Ammoniaks infolge der Produktionsdrosselung von SKW Piesteritz mag das verdeutlichen. Vgl. www.gtai.de/de/trade/russland/branchen/handel-mit-duengemitteln-aus-russland-von-sanktionen-ausgenommen-1004736, abgerufen am 28.01.2025.

1.4 Unternehmensanalysen: Status Quo und Perspektiven ausgewählter Betriebe

Die Vielfalt wirtschaftlicher Tätigkeit bringt es mit sich, dass jedes Unternehmen von den Transformationseffekten in individueller, spezifischer Weise betroffen ist, und auch eigene Mechanismen entwickelt (hat), darauf zu reagieren. Um diese individuellen Reaktionen erfassen zu können, wurden Interviews mit 12 Unternehmensvertretern geführt.⁶¹ Als Grundlage für das Gespräch diente ein standardisierter und mit dem Auftraggeber abgestimmter Fragenkatalog. Die teilnehmenden Unternehmen gehörten den Branchen Kohlenbergbau/Mineralölverarbeitung, Chemieindustrie, Bioökonomie/Novel Foods, Entsorgung und Versorgung sowie weiteren an. Acht der befragten Unternehmen gehörten der Kategorie Großunternehmen an, drei der Kategorie kleines oder mittelgroßes Unternehmen und bei zwei Unternehmen handelte es sich um eine Projektgesellschaft (Start-up).

Als Quintessenz lässt sich aus den Experteninterviews schlussfolgern, dass die Betroffenheit gerade auch der regionalen fossil-basierten Industrie vom derzeitigen Energiepreisniveau und den Störungen in der regionalen Lieferkette schon jetzt enorm ist. Ein Gesprächspartner berichtete infolgedessen von 30-40 Prozent Produktionsrückgang. Die damit einhergehenden Umsatzeinbußen erschwerten wiederum die Finanzierung von Ausweichlösungen. Sogar die Vertreterin eines Großunternehmens bekannte: „Ohne öffentliche Fördermittel oder Fondslösungen geht’s auf keinen Fall.“

In kleinen und mittleren Unternehmen ist auffällig – aber nicht anders zu erwarten –, dass die Strategiebildung eher ad-hoc, intuitiv und personenzentriert erfolgt. Der Vertreter eines kleinen Unternehmens schilderte, transformationsbezogene Projektideen würden von ihm, dem Geschäftsführer, dem Technischen Leiter und ggf. einem externen Berater besprochen. „Transformationsteams“ sind in kleinen und mittelgroßen Betrieben eher selten anzutreffen, wurde uns berichtet. Große Unternehmen verfolgen offenbar zwei unterschiedliche Ansätze: Hier kommen die Projektansätze von ‚Senior Experten‘ oder von ‚Transformationsteams‘ zum Tragen. Die Schilderungen unserer Interviewpartner deuten darauf hin, dass inhabergeführte Unternehmen sich offenbar überwiegend durch die Installation eines ‚Senior Experten‘ behelfen. Demgegenüber scheinen konzernartige Gesellschaften ‚Transformationsteams‘ zu bevorzugen, die häufig in den Konzernzentralen lokalisiert sind. Die Vertreterin eines großen Versorgers beschrieb gar ein klar strukturiertes, in eine Matrix-Organisation eingebettetes Transformationsteam, das Projektideen in Feedback-Schleifen sowohl *top-down* als auch *bottom-up* in den jeweiligen Organisationseinheiten intern bewerten und schärfen lasse. Diese fließen in einen Transformationsplan ein. Darüber hinaus bindet das Unternehmen sowohl seine Kunden als auch potenzielle mit der Umsetzung beauftragte Dienstleister regelhaft in den Diskussionsprozess ein. Eine solche Methodik ist sicher beispielhaft, indes nur von großen Unternehmen umzusetzen.

Die Unternehmen, so ergibt sich aus den ausgewerteten Interviews, konzentrieren sich zunächst auf den Ersatz fossil-basierter Energieträger durch nachhaltige Alternativen. Effizienzsteigerungsmaßnahmen gehören mitunter dazu, häufiger die Installation eigener PV-Anlagen. Offenbar liegt der Grund darin, dass der Ersatz produktiver Rohstoffe durch biogene Edukte oder die (erhöhte) Beimischung biogener Edukte weit schwieriger zu bewerkstelligen scheint als der Ersatz fossiler Brennstoffe. Einige Unternehmen beklagten, dass diesbezüglich die Aufgeschlossenheit und Kundenfreundlichkeit der regionalen Elektrizitätsversorger noch nicht optimal sei.

61 Stand: 18.02.2025. Der Fragenkatalog und die Liste der befragten Unternehmen finden sich im Anhang.

Hinsichtlich der Entwicklung neuer Produkte scheiden sich die Unternehmen der Interviewpartner grob in zwei Lager: Eine Gruppe von Unternehmen scheint visionär sehr weit fortgeschritten; da das Hauptprodukt offenbar die Bedingungen der ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit erfüllt, schauen diese Unternehmen bereits auf die kommerzielle Verwertung produktiver Nebenströme. „Das permanente Sich-Umschauen nach neuen Möglichkeiten ist im Unternehmen verankert und kommt schon von der Tradition her“, fasste ein Unternehmensvertreter zusammen. Die andere Gruppe von Unternehmen ist der Transformation gegenüber nicht unaufgeschlossen, aber ihr Tempo ist geringer. Sie nehmen ihre Umwelt in Bezug auf die Loslösung von den fossil-basierten Rohstoffen als mit Hindernissen und Hürden umstellt wahr.

Somit ist die Umsetzung von Ersatzlösungen nicht immer leicht. Ein Unternehmen berichtete eindrucksvoll, in die Klemme zwischen kurzen Realisierungsfristen und langwierigen Genehmigungsgefahren geraten zu sein: Da manch traditionelles Unternehmen seinen Energierohstoff direkt aus dem benachbarten Braunkohletagebau bezog, müssen nun in kurzer Zeit alternative Versorgungsleitungen gelegt werden – Bau- und Finanzplanung, Baugrundsicherung, Planfeststellung und Bau sind jedoch meist langwierige Unterfangen. Gerade kleinen und mittleren Unternehmen droht damit neben der finanziellen auch eine organisatorisch-personelle Überforderung.

Ähnliches gilt für die Zulassung neuer oder modifizierter Produkte. Ein Unternehmen bemängelte z. B. die langwierigen Zulassungsverfahren für (biogen modifizierte) Straßenbaustoffe. Hier stehen die öffentlich-rechtlichen Genehmigungen und Normen dem Marktzugang alternativer – aus der Transformation hervorgehender – Produkte im Wege.

Ob technische Verfahren noch nicht ausreichend erprobt und damit ein Markteintrittshindernis darstellen – darüber waren die Interviewpartner unterschiedlicher Ansicht. Ein Interviewpartner behauptete: „Die technischen Lösungen liegen alle vor.“ Ein anderer entgegnete: „Die Verfahren sind noch nicht ausreichend etabliert.“ Ein Großteil der Interviewpartner konstatierte, dass der Markt (noch) nicht bereit sei, für ‚defossilisierte‘ Produkte einen auskömmlichen Preisaufschlag zu leisten. Das führe dazu, dass technisch umsetzungsfähige Projekte nicht realisiert würden.

Als Ökosystem, in dem transformative Projekte kreiert, reflektiert und umgesetzt werden können, pflegen fast alle Interviewpartner Netzwerke. Ob hierbei lokale, regionale, nationale oder internationale Netzwerke stärker angesprochen werden, variiert von Branche zu Branche und von Größe zu Größe. Lokale und regionale Netzwerke scheinen den Aussagen zufolge eher umsetzungsorientierten Nutzen zu stiften, während nationale und internationale Netzwerke offenbar eher gepflegt werden, um Strategien zu bilden. Ein organisierter, regelhafter Austausch findet allerdings nur selten statt – schon gar nicht, so wurde kritisiert, kontinuierlich und im fachlichen Detail mit der regionalen Politik. Ein Interviewpartner betonte in diesem Hinblick, dass Vertrauen die Grundlage sei, um den Wandel hin zur postfossilen Industrie vollziehen zu können.

Nahezu alle befragten Unternehmensvertreter zeigten sich in den Interviews hochgradig verunsichert über die erratische Energiepolitik der vergangenen Dekade und wünschen sich mehr Stabilität als strukturbestimmendes Element sowie eine klare Fokussierung auf die Reduktion des CO₂-Ausstoßes als substanzielle Zielrichtung. Ein Unternehmensvertreter nannte dementsprechend „schnell wechselnde politische Meinungen“ und eine „zu starke Fokussierung auf bestimmte technologische Lösungen“⁶² als Herausforderungen.

62 d. h. mangelnde „Technologieoffenheit“

Aller Kritik zum Trotz sehen die meisten Unternehmensvertreter ihre Unternehmen langfristig auf der Gewinnerseite der Transformation. Die überwiegende Zahl der Interviewpartner prognostiziert, auf die Sicht von fünf bis zehn Jahren CO₂-freie oder zumindest CO₂-reduzierte Produkte anbieten zu können – wenn auch in unterschiedlich starker Ausprägung. Der Vertreter eines Großunternehmens dazu: „Technisch ist mehr mach-, aber nicht finanzierbar, sodass die Kunden am Ende mit 80-90%igen biogenen Produkten zufrieden sind.“

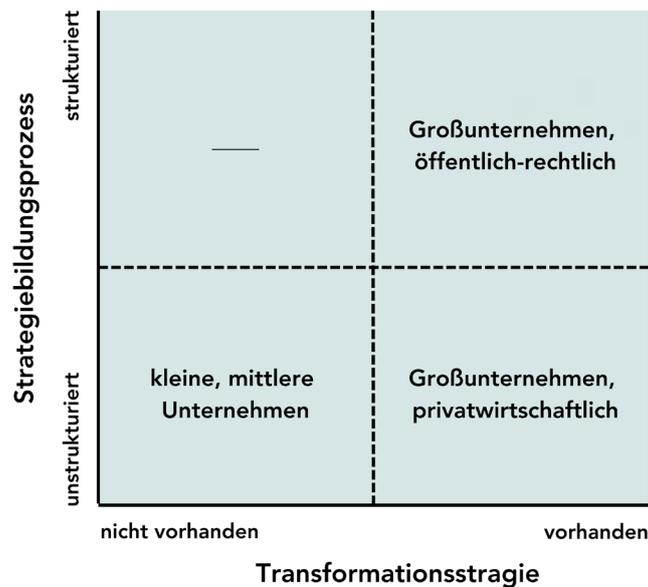


Abb. 1.13: Idealtypische Verteilung der Unternehmensgattungen im Ergebnis der Experteninterviews
 Aus den Experteninterviews lässt sich induktiv ableiten, dass eine Transformationsstrategie eher in Großunternehmen anzutreffen ist, und dass der Strategiebildungsprozess nur in öffentlich-rechtlichen Unternehmen strukturiert erfolgt. Aufgrund der geringen Zahl an Interviews ist die Aussage allerdings noch hypothetisch.

1.5 Bioökonomie als Alternative: Regionale Vorreiter und Innovationspotentiale

Die ‚Defossilisierung‘ der Industrie kann erreicht werden, indem Rohstoffe durch Biomasse oder Recyclingmaterial ersetzt werden, oder indem emittiertes Kohlendioxid abgeschieden und unter Tage verbracht oder – in Kombination mit ‚grünem‘ Wasserstoff – zu ‚grünen‘ Kohlenwasserstoffen umgesetzt wird. Im Mitteldeutschen Revier ist diesbezüglich die Bioökonomie, also der vermehrte Einsatz von Biomasse in der Chemieindustrie am sichtbarsten fortgeschritten, und hier ist das Entstehen eines neuen ‚Ökosystems‘ am ehesten nachvollziehbar.⁶³ Daher sollen im Folgenden die Pioniere der Bioökonomie im Mitteldeutschen Revier kurz beschrieben werden.

Die **Bioökonomie** kann für sich in Anspruch nehmen, eine Schlüsselrolle in der Transformation bestehender Industriezweige hin zu einer klimaneutralen Wirtschaft im mitteldeutschen Kohlerevier einzunehmen. Gerade das Mitteldeutsche Revier bringt mit der Kombination von starker Landwirtschaft und leistungsfähigen Chemieparcs beste Standortvoraussetzungen mit. Im öffentlichen Bewusstsein spielt ‚Bioökonomie‘ jedoch keine Rolle: „Viele Befragte können mit dem Begriff der Bioökonomie nichts oder nur wenig anfangen“, konstatierte eine Nachwuchswissenschaftlergruppe der Universität Jena im September 2023.⁶⁴ Das ist insofern nicht verwunderlich, als das Wort ‚Bioökonomie‘ von der Wissenschaft kreiert, von der Politik aufgegriffen wurde und nun – immerhin – mehr und mehr auch in der Industrie Verbreitung findet. Auch darüber, was unter ‚Bioökonomie‘ zu verstehen ist, herrscht keine Klarheit: Während die OECD unter Bioökonomie lediglich eine durch Biotechnologie unterstützte (landwirtschaftliche) Urproduktion und Weiterverarbeitung zu verstehen scheint⁶⁵, setzt die deutsche Bundesregierung in ihrer nationalen Bioökonomiestrategie sehr viel breiter an: Demnach umfasst Bioökonomie „alle Wirtschaftsbereiche, die nachwachsende Ressourcen wie Pflanzen, Tiere sowie Mikroorganismen und deren Produkte, erzeugen, be- und verarbeiten, nutzen und damit handeln“⁶⁶. Welcher Auslegung man auch immer anhängen mag, im Folgenden werden nur diejenigen Unternehmen betrachtet, die Biomasse in chemisch-pharmazeutischen Produktionsanlagen stofflich verwerten. Lässt man also traditionelle biobasierte Industrien wie die Holzverarbeitung und

63 Das soll die geleistete Arbeit bzgl. der Stärkung von chemischem Recycling, CCU/S, Wasserstoff nicht schmälern. Ein ‚Ökosystem‘ aus wissenschaftlichen Einrichtungen, Incubatoren, Produktionsunternehmen und sie umgebenden Dienstleistern ist in dieser Dichte im Mitteldeutschen Revier bisher allerdings nur für die Bioökonomie erkennbar. Ansätze einer Verbandsorganisation finden sich bzgl. der Bioökonomie z. B. im 2011 in Leuna gegründeten BioEconomy e.V. (www.bioeconomy.de), unter dessen Mitwirkung 2021 die sog. Bioökonomie-Strategie der Landesregierung Sachsen-Anhalts entstand (www.mitteldeutschland.com/wp-content/uploads/2021/06/010621_biooekonomie-strategiepapier.pdf). Etwas später, 2013, wurde die Wasserstoff-Clusterorganisation Hydrogen Power Storage & Solutions e.V. gegründet; sie legte 2023 eine Entwicklungsstrategie sowie weitere überregional beachtete Entwicklungsstudien vor (www.hypos-germany.de/wissensportal/downloads). Die im Herbst 2024 vorgestellte Untersuchung „CapTransCO₂“ bzgl. der notwendigen Voraussetzungen für die regionale Speicherung und Nutzung von Kohlendioxid führte im Frühjahr 2025 zur Gründung der CCU/S-Initiative Ostdeutschland unter dem Dach der Metropolregion Mitteldeutschland Management GmbH, Leipzig. Dem Vernehmen nach existiert hinsichtlich der Stärkung des chemischen Recyclings eine regionale Sektion des Nationalen Begleitkreises Chemisches Recycling (www.thinktank-irs.de), über dessen Arbeit aber bislang nichts öffentlich bekannt geworden ist.

64 Linda von Faber, Martin Fritz: „Bio-Mentalitäten in Deutschland. Bericht über die Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage zu Bioökonomie und sozial-ökologischem Wandel“, 2023, S. 40

65 OECD [Hg.]: „Meeting Policy Challenges for a Sustainable Bioeconomy“, 2018, S. 14

66 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft [Hg.]: „Nationale Politikstrategie Bioökonomie“, 2014, S. 8. Damit umfasst die ‚Bioökonomie‘ aber auch traditionelle Branchen wie die Holzverarbeitung, die Zellstoff- und Papiererzeugung, die Gastronomie usw.

die Papiererzeugung außen vor, kann man die Entstehung der regionalen Bioökonomie gut an ihrer Genese aus der Gewinnung von Bioenergie über die Erzeugung von Bio-Kraftstoffen bis hin zur biobasierten chemischen Großproduktion nachverfolgen.⁶⁷ 2022 verarbeitete die deutsche Chemieindustrie etwa zu 85 % Rohstoffe fossilen Ursprungs und etwa zu 15 % Biomasse (bzw. 13,9 und 2,5 Mio. t).⁶⁸

Die chemische Verarbeitung landwirtschaftlicher Rohstoffe entwickelte sich auch in Mitteldeutschland aus der Nahrungsmittelproduktion heraus. Zu den größten noch bestehenden Betrieben der traditionellen (Spezial-) Chemieindustrie der Region dürfte die Firma Bell Flavor & Fragrances in Miltitz bei Leipzig gehören. Das Unternehmen, das sich heute in US-amerikanischem Familienbesitz befindet, stellt mit mehr als 300 Beschäftigten Duftstoffe und Aromen her, teils aus chemischen/fossilen, überwiegend aber aus biogenen Rohstoffen. Ein Beispiel für den gelungenen Sprung von der Kohlechemie in die Bioökonomie bieten die in der Öffentlichkeit wenig wahrgenommenen Deutschen Hydrierwerke Rodleben: Während des Ersten Weltkriegs gegründet, um aus Braunkohle-Derivaten⁶⁹ Schmieröle und Harze herzustellen, produziert das Unternehmen heute unter indonesischer Führung ungesättigte Fettalkohole, Zuckeralkohole sowie Fettamine und Spezialester „vor allem“ auf Basis nachwachsender Rohstoffe.⁷⁰ Auf dem Weg der Loslösung von den fossil-basierten Kohlenwasserstoffen ist auch das Unternehmen Vantage mit Sitz am Chemiestandort Leuna. Der Tenside-Hersteller vermeldete im Januar 2025 nicht nur, die Produktionskapazität deutlich erweitern zu wollen, sondern bereits heute zu zwei Dritteln natürliche Rohstoffe, größtenteils natürliche Öle oder Fette, einzusetzen.⁷¹

Die neue Generation bioökonomischer Werke entwickelte sich aus der Biokraftstoffproduktion heraus. Den Herstellern von Bioethanol und Biodiesel sowie Bioglycerin kommt eine Vorreiterrolle auf dem Weg zu einer umfassend angelegten chemischen Verarbeitung biogener Rohstoffe zu. Der Biodieselhersteller Verbio entwickelte sich vom grünen Pionier zum inzwischen börsennotierten Unternehmen. Mit knapp 1.200 Beschäftigten zählt das Unternehmen zu den 100 beschäftigungsstärksten im Bundesland Sachsen-Anhalt. Diese Erfolgsgeschichte ist umso erstaunlicher, wenn man bedenkt, dass die erste Produktionsanlage des Unternehmens vor weniger als 25 Jahren in Betrieb ging. Das Unternehmen hat seinen Sitz in Zörbig und stellte in der Produktionsstätte Bitterfeld-Wolfen 2022/23 knapp 200.000 t Biodiesel her.⁷² Das Unternehmen errichtet derzeit im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen die weltweit erste großtechnische Ethenolyse-Anlage auf Basis von Rapsölmethylester. Ab 2026 sollen dort erneuerbare Spezialchemikalien für nachhaltige Waschmittel, Schmierstoffe und Kunststoffe hergestellt werden. Das seit 2006 in Lutherstadt Wittenberg bestehende Biodieselwerk ist inzwischen in niederländischer Eigentümerschaft. Die Louis Dreyfus Company produziert dort mit knapp 100 Beschäftigten rund 200.000 t Biodiesel im Jahr. Eine weitere, kleinere Biodieselan-

67 Interessant, und selbst in der Industrie wenig beachtet, ist, dass die pharmazeutische Industrie als Zweig der Spezialchemie über eine lange Tradition in der Verarbeitung biogener Rohstoffe verfügt. Hier könnte bislang nicht mobilisiertes Wissenspotential liegen!

68 Verband der Chemischen Industrie e. V.: „Branchen-porträt – Daten und Fakten im Überblick“, Mai 2024, S. 19

69 Sog. Naphtalin, vgl. Elisabeth Vaupel [Hg.]: „Ersatzstoffe im Zeitalter der Weltkriege“, 2021, S. 209

70 www.dhw-ecogreenoleo.de/de/index.html, abgerufen am 17.01.2025

71 www.mz.de/lokal/merseburg/kosmetikzulieferer-vantage-leuna-unser-wachstum-geht-weiter-3984433, abgerufen am 28.01.2025. Auf biobasierte, abbaubare Kunststoffe setzt auch das Merseburger Familienunternehmen Exipnos. www.exipnos.de, abgerufen am 25.02.2025

72 Diese sowie die folgenden Angaben sind entnommen aus: Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V.: „Geschäftsbericht 2022/23“, Berlin 2023, S. 117-118

lage ist im Mitteldeutschen Revier im Hafen Halle (Saale) in Betrieb. Während Verbio in Zörbig und Cargill in Barby eher mittelgroße Bioethanol-Anlagen betreiben – der Jahresausstoß beträgt 60.000 bzw. 40.000 t – setzt die zum Südzucker-Konzern gehörende CropEnergies Bioethanol in Zeitz mit einer Jahresproduktion von 315.000 t Bioethanol in der Region Maßstäbe. Verwertet werden dort Zuckerrüben und Weizen.⁷³ Sowohl der Biodiesel als auch das Bioethanol werden ganz überwiegend der Kraftstoffproduktion der TotalEnergies Raffinerie Mitteldeutschland in Spergau beigemischt. Unter den größten regionalen Verarbeitern von Koppelprodukten der Biodieselwerke findet sich das Unternehmen Glaconchemie, das im Industriepark Merseburg mit mehr als 50 Beschäftigten Bio-Glycerine für die Pharma-, Chemie-, Farben- und Lacke-, Kosmetik- sowie Nahrungsmittelindustrie herstellt.⁷⁴

Aus den landwirtschaftlichen Biogasanlagen bzw. neben ihnen entwickelten sich die Groß-Biogasanlagen. Zum Jahresende 2022 wies das Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur – dort müssen alle Großanlagen gemeldet werden – für die Untersuchungsregion 23 Groß-Biogasanlagen aus.⁷⁵ Ihre Gaserzeugungsleistung betrug insgesamt mehr als 200 Megawatt. Die größte Anlage war die der Firma Verbio in Zörbig mit einer installierten Leistung von mehr als 33 MW Biogas. Aber auch die Biogasanlage der niedersächsischen Firma Weltec in Könnern ist mit einer installierten Leistung von mehr als 22 MW beachtlich. Auf diese Leistung kommen ebenfalls (in der Addition) die drei Anlagen der VNG-Tochtergesellschaft Balance in Jesewitz, Oschatz und Trebsen. Groß-Biogasanlagen könnten sich als wichtige Energielieferanten für die in der Industrie kontinuierlich benötigte Prozesswärme erweisen.

Während die Biokraftstoffhersteller ihre Rohstoffe vorwiegend aus der Landwirtschaft beziehen, verarbeitet das 2007 in Betrieb genommene Methylcellulose-Werk von Dow Chemicals in Bitterfeld Zellstoff aus nachhaltiger Forstwirtschaft. Die Methylcellulose wird Trockenmörtel, Spritzputzen und Fliesenkleber als ökologisches Dichtungsmittel beigegeben. Aufsehen erregte 2020 die Mitteilung des finnischen Holz-, Zellstoff- und Papierkonzerns UPM, am Chemiestandort Leuna eine Bioraffinerie zu errichten, die auf Basis überschüssigen Buchenholzes Bio-Monoethylenglykol, Bio-Monopropylenglykol sowie erneuerbare Füllstoffe (Lignin) und Industriezucker produzieren wird.⁷⁶ Das Investitionsvolumen beträgt mehr als 1 Mrd. Euro, künftig sollen mehr als 100 Frauen und Männer am Produktionsstandort Leuna beschäftigt werden.⁷⁷

Wichtige Stützen der vergleichsweise jungen Bioökonomie sind die großen Forschungszentren in Leipzig und Leuna, das Deutsche Biomasseforschungszentrum (DBFZ) und das Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse (CBP). Während sich das DBFZ überwiegend auf die anwendungsbezogene Grundlagen- und Makroforchung in Bezug auf Biomasse konzentriert, steht der regionalen Industrie mit dem CBP ein modular einsetzbarer Reaktor- und Technikumsanlagenpark zur Verfügung sowie fachspezifisches Knowhow, um chemisch-biotechnologische Verfahren,

73 Über die Durchgangsprodukte Weizenstärke und Bioethanol.

74 Als Erweiterung der Biokraftstoff-Wertschöpfungskette kündigte CropEnergies 2022 an, im Chemie- und Industriepark Zeitz, Elsteraue, eine Anlage zur Herstellung von 50.000 Jahrestonnen Bio-Ethylacetat zu errichten. Diese Anlage wird das im Werk Zeitz generierte Bioethanol verarbeiten. Der Produktionsstart ist für 2025 vorgesehen.

75 www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Einheit/Einheiten/OeffentlicheEinheiteneuebersicht#gaserzeugung, abgerufen am 04.02.2025

76 www.upmbiochemicals.com/de, abgerufen am 23.01.2025

77 Aktuell „lebt“ die Gesellschaft von aktivierten Eigenleistungen und Zuweisungen der Muttergesellschaft, die in der Tabelle als Umsatz ausgewiesen werden.

Produkte und Anlagen bis zur Einsatz- und Marktreife zu entwickeln, zu realisieren und zu optimieren. Wichtige Ergänzungen dieser spezifischen Forschungsinfrastruktur werden das ‚Center for the Transformation of Chemistry‘ (CTC) in Delitzsch und das für den Chemiestandort Leuna im Gespräch befindliche Großtechnikum ‚BioEconomy Hub‘ sein.⁷⁸

Tabelle 1.13: Unternehmen der Bioökonomie im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022

Firma	Beschäftigte	Umsatz
Verbio (Konzern), Zörbig	1.180	1.973
Bell Flavors & Fragrances, Miltritz	301	52
Deutsche Hydrierwerke Rodeleben	161	95
Louis Dreyfus Company Wittenberg	107	65
Dow, Werk Bitterfeld	k.A.	k.A.
CropEnergies Bioethanol, Werk Zeitz	k.A.	k.A.
UPM Biochemicals, Leuna	57	5
Glaconchemie, Merseburg	51	46
Navigo Proteins, Halle (Saale)	65	11
Dt. Biomasseforschungszentrum, Leip.	261	17
Fraunhofer CBP, Leuna	*50	k.A.

*Nicht durch das Unternehmensregister verifizierbare Angabe des Instituts.

78 <https://transforming-chemistry.org> sowie www.mz.de/lokal/merseburg/neue-hoffnung-fur-den-bioeconomy-hub-3976180, beide abgerufen am 23.01.2025

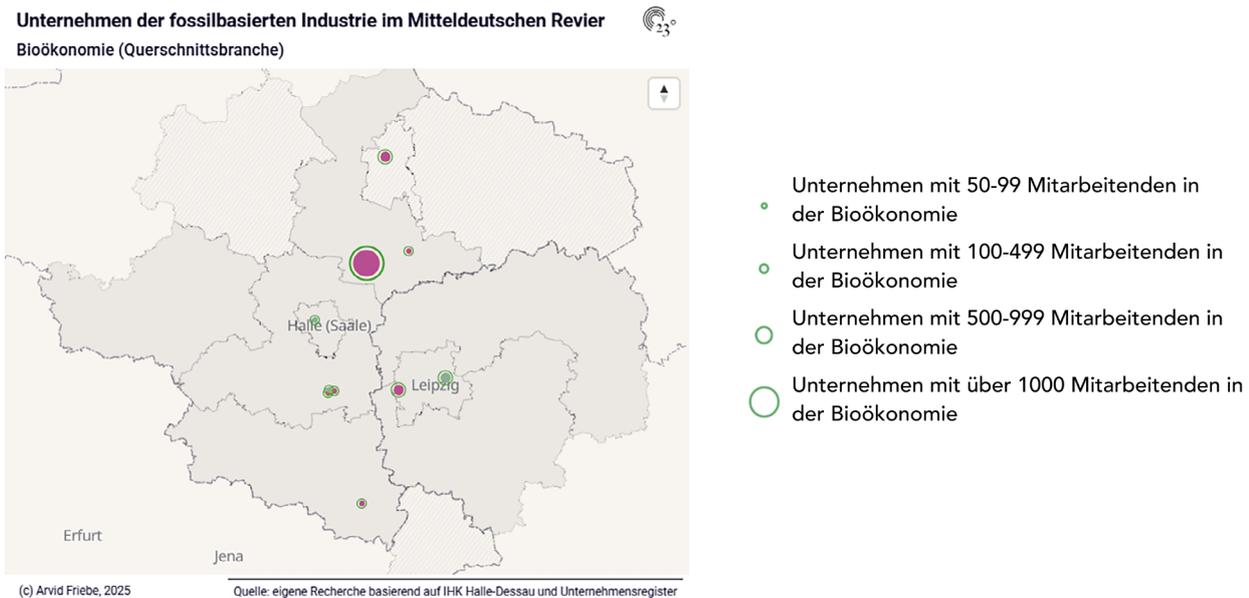


Abb. 1.14: Lage der Unternehmen der Bioökonomie im Mitteldeutschen Revier
Die Loslösung von den fossilen Rohstoffquellen scheint im Mitteldeutschen Revier interessanterweise zunächst nur in der chemischen Industrie stattzufinden (wobei ein großer Teil der pharmazeutischen Industrie bereits auch auf Basis pflanzlicher Rohstoffe arbeiten dürfte). Jedenfalls ist derzeit kein Unternehmen z. B. der Kunststoffverarbeitung mit mehr als 50 Beschäftigten im Revier bekannt, das auf Basis biogener Ressourcen arbeitet. Leistungsfähige Forschungsinfrastrukturen der Bioökonomie gibt es in den urbanen Zentren Leipzig und Halle (Saale) sowie am Chemiestandort Leuna.

1.6 Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

Der Abbau der Braunkohle bescherte dem Mitteldeutschen Revier einen beispiellosen wirtschaftlichen Aufschwung – von hier aus wurde Anfang des 20. Jahrhunderts ganz Deutschland mit Chemikalien und Elektrizität versorgt. Ab den 1960er Jahren ersetzte zunehmend über Pipelines herangeführtes Erdöl die „Kohlechemie“, was zur Entwicklung eines reichen Mikrokosmos’ an Industrieunternehmen und Dienstleistungsbetrieben beitrug. Aus Wertschöpfungsketten wurden Wertschöpfungsnetze. Auch heute spielt die kohlenstoffbasierte Industrie eine bedeutende Rolle im regionalen Wirtschaftsgefüge, in Sachsen-Anhalt mehr als in Sachsen und Thüringen. Zwar konsolidierte die Industrie während der Corona-Pandemie, aber ein Abbau der Beschäftigung war bis 2022 nicht zu verzeichnen. Doch die klimapolitisch nötige „Defossilisierung“ und die damit einhergehende Verteuerung kohlenstoffbasierter Rohstoffe zwingt die Unternehmen zur erneuten Transformation.

Die Erarbeitung entsprechender Strategien erfolgt in kleinen und mittleren Unternehmen eher ad-hoc, intuitiv und personenzentriert. Bei größeren Unternehmen besteht dagegen die Chance auf einen strukturierten Strategiebildungsprozess. Dabei hat die Region mit einer starken Landwirtschaft, leistungsfähigen Chemieparcs und einer nahezu durchgängigen Forschungsinfrastruktur gute Voraussetzungen für ein Gelingen der ‚Defossilisierung‘. Als Treiber dieser Transformation treten derzeit eher große, kapital- und humankapitalstarke Unternehmen hervor, weniger die kleinen und mittleren Unternehmen. Start-ups bieten hierfür zukunftsweisende Perspektiven und die Forschungsinfrastruktur ist gut ausgelastet und erweiterungsfähig. Der Schlüssel zur erfolgreichen Transformation sind die Chemieparcs in Verbindung mit Technologie- und Gründerzentren TGZ, die das Ökosystem für die erfolgreiche Transformation des Mitteldeutschen Reviers bilden können.

In der Gesamtschau lässt sich konstatieren, dass die fossil-basierten Industrien im Mitteldeutschen Revier in ihrer fast 200-jährigen Geschichte komplexe Wertschöpfungsketten, mitunter Wertschöpfungsnetze ausgebildet haben. Die Verwertung des ursprünglichen Rohstoffes Braunkohle beschränkt sich heute fast ausschließlich auf die Verbrennung als Energieträger. Sie wurde bereits seit der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts auch als Rohmaterial der stofflichen Verwertung von importiertem Erdöl, teilweise auch Erdgas abgelöst. Die ‚Defossilisierung‘ der hiesigen Industrie birgt nicht nur die Gefahr, dass diese Netze zerbrechen, sondern dass ganze Industriezweige untergehen. Denn dieselbe ‚Defossilisierung‘ bietet die Chance, die Chemieparks und die „hinterliegenden“ Partner neu und zukunftsweisend aufzustellen, indem die Chemieregion, das Mitteldeutsche Revier, erneut zur Innovationsregion wird – nun des postfossilen Zeitalters.

Gesellschaftliche (und politische) Bedeutung erlangt das Risikoszenario jedoch dadurch, dass die fossil-basierte Chemieindustrie zumindest im Bundesland Sachsen-Anhalt einen wesentlichen Beitrag zur Beschäftigung leistet. Bemerkenswert ist, dass der sächsische Teil des Reviers eher zu den Gewinnern der Defossilisierung gehören könnte, da hier aufgrund der urbaneren Prägung weniger Chemiebetriebe, dafür aber umso mehr dienstleistende Transport-, Ingenieur- und Forschungsunternehmen angesiedelt sind. Diese wären gegenüber Brüchen in der Wirtschaftsstruktur nicht nur resilienter, zumindest Ingenieurbüros und Forschungseinrichtungen könnten tendenziell sogar vom ökonomischen ‚Stress‘ der benachbarten Industrien profitieren.

Treiber der Defossilisierung sind im Revier derzeit eher Großunternehmen, die zwar über langwierige interne Planungs- und Genehmigungsprozesse verfügen mögen, aber mit entsprechender Kapitalausstattung einmal getroffene Entscheidungen kraftvoll umsetzen können. Der potenziell kreativere und wendigere Mittelstand ist derzeit noch nicht als treibende Kraft der Defossilisierung wahrnehmbar, zumindest nicht im Mitteldeutschen Revier. Dies mag an mangelnder Kapital- und Humankapitalausstattung liegen: Die auf Zulieferung und Lohnfertigung ausgerichteten mittelständischen Betriebe sind mit der Fülle an Aufgaben, der Größe der anstehenden Investitionen und der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit überfordert – darauf deuten einzelne Aussagen unserer Experteninterviews hin.

Das Ziel einer Transformation stellten hingegen unsere Interviewpartner nicht in Frage. Das Mitteldeutsche Revier bietet mit einer starken Landwirtschaft, leistungsfähigen Chemieparks und einer nahezu⁷⁹ durchgängigen Forschungsinfrastruktur enormes Potential, die Defossilisierung der regionalen Wirtschaft zukunftsweisend zu voranzutreiben, ohne dass größere Strukturbrüche entstehen.

Jedoch bedarf es aufgrund der Vielzahl kleiner und mittlerer (Produktions-)Betriebe in einer so strukturbestimmenden Industrie wie der chemisch-pharmazeutischen im Mitteldeutschen Revier einer regionalen Carbon- [Transformations-] Management-Strategie als schriftlich verfasste Grundvereinbarung möglichst vieler betroffener Akteure, v. a. der regionalen Unternehmens-Fachverbände als auch der regionalen Politik in ihrer Eigenschaft als Verwaltungsspitzen.

Da die überwiegende Zahl der Betriebe der kohlenstoffbasierten Industrie des Mitteldeutschen Reviers auf sachsen-anhaltischem Territorium liegt, sollte eine solche Strategie von der Landesregierung Sachsen-Anhalt initiiert werden und unter ihrer Federführung entstehen. Die Landesregierung

⁷⁹ Dem Autor erscheinen die in Konzeption bzw. Planung befindlichen Projekte des Großforschungszentrums ‚Center for the Transformation of Chemistry (CTC)‘ in Delitzsch sowie des Großtechnikums ‚BioEconomy Hub‘ in Leuna als bedeutende Ergänzungsbausteine.

gen Sachsens und Thüringens sollten eingeladen werden, den Strategieprozess intensiv und ernsthaft zu begleiten. Die regionalen Unternehmens-Fachverbände der betroffenen Industrien sollten mit aktiver Rolle in den Strategiebildungsprozess eingebunden werden.

Den so verfassten strategischen Zielen sollte ein regelmäßiger Konsultationsprozess, sozusagen ein „Carbon-Management-Trilog“, folgen, mglw. mit wechselnder regionaler Schirmherrschaft, um einen regelmäßigen Austausch aller Beteiligten und Betroffenen aus Wirtschaft, Politik, Gesellschaft zu gewährleisten, gegenseitiges Verständnis zu entwickeln, Wissen zu erweitern und Konflikte vorzubeugen bzw. sie zu schlichten, Asynchronismen wo möglich zu glätten und die Sinnhaftigkeit der zuvor formulierten Ziele und Maßnahmen immer wieder den aktuellen Gegebenheiten anpassen zu können, ohne sich von grundlegenden Zielen zu lösen.

Das Mitteldeutsche Revier bringt gute Voraussetzungen für das Gelingen der Defossilisierung der regionalen Wirtschaft mit. Der Prozess der Defossilisierung selbst muss planvoll, konsensual, kontinuierlich und iterativ ausgestaltet werden. Er beruht vor allem auf Prozessinnovationen, auf der Verfügbarkeit Erneuerbarer Energien und auf der Akzeptanz der „Chemieindustrie der Zukunft“ sowie einer agilen Start-up-Kultur entlang der Stoffkreisläufe, wie sich in den Chemieparks des Mitteldeutschen Reviers bereits heute abzeichnet. Angesichts der spezifischen Wirtschaftsstruktur im Mitteldeutschen Revier birgt selbst ein gutgemeintes ökonomisches *Laissez-faire* hohe wirtschaftliche, gesellschaftliche und letztlich auch politische Risiken.

Wirtschaftspolitisch sinnvoll scheint daher die Schaffung eines Forums, in dem sich Vertreter aus Wirtschaft, Politik und Gesellschaft regelmäßig austauschen.⁸⁰

80 Die Nobelpreisträger Daron Acemoglu und James A. Robinson bezeichnen derartige politisch-soziale Institutionen als „Positive Feedback and Virtuous Circles“ (etwa: positive Rückmeldeschleifen und Tugendkreise [im Gegensatz zu ‚Teufelskreisen‘]). Vgl. Daron Acemoglu / James A. Robinson: „Why Nations Fail“, New York 2012

1.7 Literatur

Acemoglu, Daron / Robinson, James A. (2021): *Why Nations Fail*.

Ahne, Marina / Gibas, Monika [Hg.] (2017): *Mitteldeutsche Industrielandschaften im 19./20. Jahrhundert*.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft [Hg.] (2014): *Nationale Politikstrategie Bioökonomie*.

Bundesministerium für innerdeutsche Beziehungen [Hg.] (1984): *DDR-Handbuch – Band 1: A-L*.

Conversio Market & Strategy GmbH (2022): *Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2021: Zahlen und Fakten zum Lebensweg von Kunststoffen*.

Faber, Linda von / Fritz, Martin (2023): *Bio-Mentalitäten in Deutschland. Bericht über die Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage zu Bioökonomie und sozial-ökologischem Wandel*.

Gericke, Hans Otto (2021): *Die Elektrizitätsversorgung in Sachsen-Anhalt: ein Abriss der regionalen Entwicklung von den Anfängen bis 1946/47*.

Grataloup, Christian (2023): *Die Geschichte der Welt – ein Atlas*.

Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt [Hg.] (2022): *Rohstoffbericht 2022 - Mitteilungen zu Geologie und Bergwesen von Sachsen-Anhalt. Band 21*.

OECD [Hg.] (2018): *Meeting Policy Challenges for a Sustainable Bioeconomy*

Schwineköper, Berent [Hg.] (1987): *Handbuch der historischen Stätten Deutschlands – Provinz Sachsen-Anhalt*.

Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2023): *Statistischer Bericht: Bergbau und verarbeitendes Gewerbe im Freistaat Sachsen - 2022. E I 3 – j/22*.

Statistisches Landesamt Freistaat Sachsen (2024): *Statistischer Bericht: Energie- und CO₂-Bilanzen im Freistaat Sachsen 2021. E IV 6 - j/21*.

Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt (2023): *Statistischer Bericht: Verarbeitendes Gewerbe sowie Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden. Tätige Personen, Umsatz, Produktion. Jahr 2022*.

Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt (2025): *Statistischer Bericht: Energie- und Wasserversorgung. Energiebilanz Sachsen-Anhalt. Jahr 2022*.

Thüringer Landesamt für Statistik (2023): *Statistischer Bericht: E I - j / 22. Strukturdaten im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe in Thüringen 1.1. - 31.12.2022*.

Thüringer Landesamt für Statistik (2024): *Statistischer Bericht: E IV - j / 21 Energiebilanz und CO₂ – Bilanz Thüringens 2021*.

Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V. (2023): *Geschäftsbericht 2022/23*.

Vaupel, Elisabeth [Hg.] (2021): *Ersatzstoffe im Zeitalter der Weltkriege*.

Verband der Chemischen Industrie e. V. (2024): *Branchenporträt – Daten und Fakten im Überblick*.

Weinberg, Gerhard L. (1994): *A World at Arms – A Global History of World War II*.

Anhang 2: Definition des Untersuchungsgebietes

Mitteldeutsches Revier gemäß § 2 Nr. 3 Investitionsgesetz Kohleregionen (InvKG):

a – Sächsischer Teil

- Leipzig, Stadt (14713)81
- Landkreis Leipzig (14729)
- Landkreis Nordsachsen (14730)

b – Sachsen-Anhaltischer Teil

- Halle (Saale), Stadt (15002)
- Anhalt-Bitterfeld (15082)
- Burgenlandkreis (15084)
- Mansfeld-Südharz (15087)
- Saalekreis (15088)

Zusätzliche Untersuchungsgebiete:

- Dessau-Roßlau, Stadt (15001)
- Salzlandkreis (15089)
- Wittenberg, Kreis (15091)
- Landkreis Altenburger Land (16077)

81 Die in Klammern gesetzten Ziffern geben zur besseren Zuordnung die Amtliche Gemeindekennzahl (AKS) wieder.

Anhang 3: Definition der „kohlenstoffbasierten Industrie“

Gewinnung fossiler Rohstoffe:

- Kohlenbergbau (05)⁸²
- Gewinnung von Erdöl und Erdgas (06)
- Erbringung von Dienstleistungen für die Gewinnung von Erdöl und Erdgas (09.10)
- Mineralölverarbeitung (19.20)

Verarbeitung fossiler Rohstoffe:

- Herstellung von chemischen Erzeugnissen (20)
- Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen (21)
- Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren (22)

Weitere CO₂-intensive Industrien:

- Herstellung von Zement, Kalk und gebranntem Gips (23.50)
- Metallerzeugung und -bearbeitung (24)
- Rückgewinnung (38.30)

(Groß-) Handel mit fossilen Produkten:

- Handelsvermittlung von Brennstoffen, Erzen, Metallen und technischen Chemikalien (46.12)
- Großhandel mit keramischen Erzeugnissen, Glaswaren und Reinigungsmitteln (46.44)
- Großhandel mit pharmazeutischen medizinischen und orthopädischen Erzeugnissen (46.46)
- Großhandel mit festen Brennstoffen und Mineralölerzeugnissen (46.71)
- Großhandel mit chemischen Erzeugnissen (46.75)

Transport und Lagerung fossiler Produkte:

- Güterbeförderung im Eisenbahnverkehr (49.20)⁸³
- Güterbeförderung im Straßenverkehr (49.41)
- Transport in Rohrfernleitungen (49.50)
- Güterbeförderung in der Binnenschifffahrt (50.40)
- Güterbeförderung in der Luftfahrt (51.21)
- Lagerei (52.10)

Mit der Chemieindustrie verbundene Wirtschaftszweige:

- Herstellung von sonstigen nicht wirtschaftszweigspezifischen Maschinen a. n. g. (28.29)
- Architektur- und Ingenieurbüros; technische, physikalische und chemische Untersuchung (71)
- Forschung und Entwicklung (72)

82 Die in Klammern gesetzten Ziffern geben den Code gemäß der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008, wieder.

83 nur Gefahrstoffe betreffend

Anhang 4: Methodik der Datenaufbereitung

1 – Grundsätzliche Überlegungen zur Methodik

Alle Unternehmen, „die zum Bruttoinlandsprodukt [...] beitragende wirtschaftliche Tätigkeiten ausüben“⁸⁴, sind gemäß § 13 (1) Bundesstatistikgesetz verpflichtet, Daten an das vom Bundesamt für Statistik („Destatis“) geführte Unternehmensregister wahrheitsgemäß zu melden. Die Statistischen Ämter der Bundesländer wirken an der Pflege des Unternehmensregisters mit. Hinsichtlich Unternehmensdaten hält die amtliche Statistik sozusagen die höchste Autorität bzgl. Genauigkeit und Vergleichbarkeit inne. Die Ämter sind jedoch nicht verpflichtet, Daten zu einzelnen Unternehmen preiszugeben, sondern sogar gehalten, (rechnerische) Rückschlüsse auf Daten, die dem Schutz von Geschäftsgeheimnissen unterliegen, zu unterbinden. Daher werden nur anonymisierte und aggregierte Auswertungen des Unternehmensregisters für volkswirtschaftliche Zwecke veröffentlicht. Was privatwirtschaftliche Interessen angeht (z.B. den Gläubigerschutz) sind nur Unternehmen, die im Durchschnitt der letzten zwei Jahre bestimmte Mindestwerte hinsichtlich Beschäftigtenzahl, Umsatz und Bilanzsumme überschreiten, verpflichtet, ihren Jahresabschluss im Unternehmensregister zu veröffentlichen – und das auch nur in einer verkürzten Fassung.⁸⁵

Um zu einer hinreichend genauen Aufstellung von Unternehmen zu kommen, die 2022 in der Untersuchungsregion gemäß Anhang 2 ansässig waren und den wirtschaftlichen Tätigkeiten gemäß Anhang 3 nachgingen und im Jahresdurchschnitt mindestens 50 Beschäftigte zählten, wurde also ein zweistufiges Näherungsverfahren gewählt: Zunächst sollte anhand einer Sonderauswertung des Statistischen Landesamtes Sachsen-Anhalt der Bestand der gesuchten Unternehmen in der Untersuchungsregion erhoben werden. Sodann sollten durch die Auswertung verschiedener privatwirtschaftlicher und öffentlicher Datenbankanbieter die ‚nackten Zahlen‘ des Statistischen Landesamtes mit konkreten Firmen untersetzt werden.

2 – Sonderauswertung des Statistischen Landesamtes Sachsen-Anhalt

Das Landesamt Sachsen-Anhalt bot Ende Juni 2024 an, eine Erhebung gemäß den in den Anhängen 2 und 3 genannten Kriterien zu liefern, auch für die Gebietskörperschaften außerhalb Sachsen-Anhalts – allerdings nur als sogenannte Vollerhebung, d. h. auch Unternehmen mit weniger als 50 Beschäftigten wurden ausgewiesen. Ihre Aussagekraft bzgl. der Zahl der Unternehmen mit mindestens 50 Beschäftigten ist mithin begrenzt. Die Daten lagen Anfang September 2024 final vor.

3 – Auswertung verschiedener Unternehmensdatenbankanbieter

Im zweiten Schritt wurden von verschiedenen Datenlieferanten Unternehmensdaten (Firma, Adresse, Zahl der Beschäftigten, Umsatz, WZ08) abgefragt, soweit möglich mit Bezugsjahr 2022. Mitte Juni 2024 wurden abgefragt:

- die Landesbanken NordLB, SachsenLB (LBBW), Helaba;
- die Industrie- und Handelskammer Halle-Dessau, Moody's Analytics Deutschland GmbH, Dun & Bradstreet Deutschland GmbH und die Creditreform Halle/Dessau Plath, Noack GmbH & Co. KG;
- die Wirtschaftsförderungsagenturen der Bundesländer Sachsen-Anhalt (IMG), Sachsen (WFS) und Thüringen (LEG);

84 Artikel 2 (1) der Verordnung (EU) 2019/2152 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. November 2019 über europäische Unternehmensstatistiken, zur Aufhebung von zehn Rechtsakten im Bereich Unternehmensstatistiken

85 Hinzu kommen noch Mindestgrößen hinsichtlich des Umsatzes und der Bilanzsumme. Vgl. § 267 HGB und § 276 HGB.

- die Verwaltungen der in Anhang 2 genannten Gebietskörperschaften;
- das Europäische Emissionshandelssystem, die Deutsche Emissionshandelsstelle und die Bundesnetzagentur;
- die Betreiber der Technologie- und Gründerzentren Bio City Leipzig, Weinberg Campus Halle (Saale), MITZ Merseburg und TGZ Bitterfeld-Wolfen GmbH.

Folgende Institutionen lieferten Daten zu:

- die Industrie- und Handelskammer Halle-Dessau und die Creditreform Halle/Dessau Plath, Noack GmbH & Co. KG;
- die Wirtschaftsförderungsagenturen der Bundesländer Sachsen-Anhalt (IMG), Sachsen (WFS) und Thüringen (LEG);
- die Verwaltungen der Landkreise Anhalt-Bitterfeld (vertreten durch die EWG), Leipzig (vertreten durch die IRL), Mansfeld-Südharz, Wittenberg sowie der Städte Halle (Saale) und Leipzig;
- die Betreiber der Technologie- und Gründerzentren Weinberg Campus Halle (Saale), MITZ Merseburg und TGZ Bitterfeld-Wolfen GmbH.

Von den Webseiten folgender Institutionen wurden eigenständig Daten beschafft:

- der Landesbank NordLB;
- des Europäischen Emissionshandelssystems, der Deutschen Emissionshandelsstelle und der Bundesnetzagentur;
- des Betreibers der Bio City Leipzig.

Folgende Institutionen wollten aus unterschiedlichsten Gründen⁸⁶ von einer Datenlieferung absehen oder reagierten nicht:

- die Landesbanken SachsenLB (LBBW) und Helaba;
- Moody's Analytics Deutschland GmbH, Dun & Bradstreet Deutschland GmbH;
- die Verwaltungen der Landkreise Nordsachsen, Altenburg, Burgenlandkreis, Saalekreis, Salzlandkreis sowie der Stadt Dessau.

Die Datensätze folgender Institutionen wiesen keine Branchenkennung auf und hatten daher nur eingeschränkte Aussagekraft:

- Creditreform Halle/Dessau Plath, Noack GmbH & Co. KG;
- Landkreis Leipzig (vertreten durch die IRL) sowie Stadt Halle (Saale).

Der letzte Datensatz ging Mitte September 2024 ein.

Die Aufbereitung und die Auswertung der Daten erstreckte sich über den Zeitraum von Juli bis Oktober 2024.

Sofern die Anbieter Datensätze lieferten, für die weniger als 50 Beschäftigte angegeben wurden, wurden sie eliminiert. Die verbliebenen Datensätze wurden in einer Datenbank konsolidiert. Bzgl. der TGZs wurden alle Datensätze auf ihre Branchenzugehörigkeit geprüft (Unternehmenswebseiten) und in eine separate Liste übertragen.

Die Angaben der verbliebenen Firmen wurden anhand ihrer jeweiligen im Unternehmensregister veröffentlichten Jahresabschlüsse validiert. Soweit zwischen einem Konzern- oder dem Abschluss

86 Z. B. weil derartige Datenbanken mit Verweis auf die Freiwilligkeit als kommunale Aufgabe nicht geführt wurden oder weil sie nicht gepflegt wurden oder weil sie dem Datenschutz unterliegen.

des örtlichen Tochterunternehmens zu wählen war, wurde der aussagekräftigere Abschluss gewählt. Soweit das Geschäftsjahr vom Kalenderjahr abwich, wurde der Jahresabschluss zum 30.06.2022 oder 30.09.2022 herangezogen. Lag kein derartiger Jahresabschluss vor, wurde der Jahresabschluss 2021 ausgewertet. Lag kein Jahresabschluss für 2021 vor, wurde derjenige für 2020 oder für 2023 ausgewertet.⁸⁷

Konnten Angaben der Datenlieferanten nicht durch das Unternehmensregister bestätigt werden, wurde dies im Bericht entsprechend vermerkt. Lagen abweichende Angaben mehrerer Datenlieferanten vor, wurde der plausible Wert gewählt. Fehlten Angaben, wurde versucht, sie auf den Unternehmenswebseiten zu recherchieren – was nur in wenigen Einzelfällen gelang. Konnten fehlende Angaben geschätzt werden (z. B. durch entsprechende Verweise in Konzernberichten oder ‚von-bis-Angaben‘ der Industrie- und Handelskammer) und ergab sich eine Beschäftigtenzahl größer/gleich 50, wurden die Einträge entsprechend in den Unternehmenslisten positioniert und mit „k. A.“ ausgewiesen. Wo kein Umsatz, aber eine Gesamtleistung ausgewiesen wurde, wurde letztere übernommen. Die Zuordnung zu den Wirtschaftszweigen wurde nur dann korrigiert, wenn sie unplausibel erschien oder mehrere Anbieter sich widersprechende Klassifizierungen vorgenommen hatten.

87 Letzteres kann aufgrund von Unternehmensgrößenänderungen nach § 267 HGB vorkommen.

Anhang 5: Experteninterviews

0 – Vorbemerkung

Für die Befragung wurden in einem Workshop des Projektbegleitenden Kreises des Auftraggebers im August 2024: 12 Unternehmen ausgewählt. Die Auswahl erfolgte nach Maßgabe einer möglichst ausgeglichenen Streuung entlang der Unternehmensgröße, des Unternehmensalters und der Branchenzugehörigkeit. Allen Beteiligten war (und ist) klar, dass eine Befragung einer so geringen Zahl von Unternehmen keinen Anspruch auf Repräsentativität haben kann. Die Befragung sollte dazu dienen, Hinweise zur erhalten ‚wo der Schuh drückt‘, um so in weiteren Folgestudien gezielter nachfassen zu können (Iteration).

Die Interviews wurden im Zeitraum von November 2024 bis Februar 2025 online geführt. Die Befragung erfolgte anhand eines zwischen der Projektleitung des Auftraggebers und dem Auftragnehmer abgestimmten Fragebogens. Alle Gesprächsprotokolle wurden von den Interviewpartnern zur anonymisierten Veröffentlichung freigegeben.

1 – Interviewleitfaden Experteninterviews

1. Einführung und Hintergrund:

- Können Sie mir kurz Ihr Unternehmen und Ihre Funktion darin beschreiben?
- Was sind die Hauptprodukte oder Dienstleistungen Ihres Unternehmens?

2. Transformation zur post-fossilen Wirtschaft:

- Was bedeutet für Ihr Unternehmen der Übergang zu einer post-fossilen Wirtschaft?
- Welche Maßnahmen haben Sie bereits ergriffen, um diesen Übergang zu unterstützen?

3. Innovative und alternative Energielösungen:

- Welche innovativen Energielösungen haben Sie bisher implementiert oder planen zu implementieren?
- Gibt es spezifische Technologien oder Prozesse, die für Ihr Unternehmen besonders relevant sind?

4. Innovative und alternative Produktlösungen:

- Welche innovativen Produktlösungen haben Sie bisher implementiert oder planen zu implementieren?
- Gibt es spezifische Technologien oder Prozesse, die für Ihr Unternehmen besonders relevant sind?

5. Zusammenarbeit und Unterstützungsbedarf:

- Welche Art von Unterstützung benötigen Sie am dringendsten, um diesen Wandel zu vollziehen?
- Welche Rolle können regionale oder nationale Behörden spielen, um Sie zu unterstützen?
- Gibt es bereits bestehende Partnerschaften oder Kooperationen, die Ihnen bei der Transformation helfen?
- Wie könnten weitere Partnerschaften aussehen, um die Defossilisierung voranzutreiben?

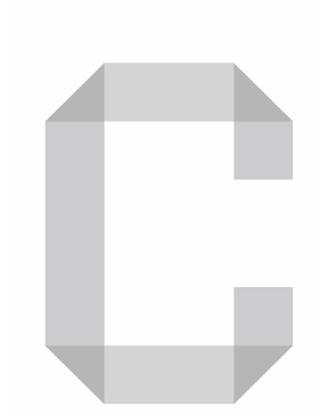
6. Zukunftsvision und Ziele:

- Wo sehen Sie Ihr Unternehmen in fünf bis zehn Jahren hinsichtlich der Nutzung nicht-fossiler Roh- und Brennstoffe?
- Welche langfristigen Ziele haben Sie für Ihr Unternehmen im Rahmen der Defossilisierung?

7. Sonstiges:

- Möchten Sie uns sonst noch etwas mitteilen, das Ihnen in Bezug auf die Defossilisierung der Industrie wichtig ist?

TEILBERICHT II



Zukunftsperspektiven einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft

2.1 Einführung: Kohlenstoffwirtschaft in Klimaneutralitätsszenarien

Mit der Novellierung des Klimaschutzgesetzes im Jahr 2021 wurde festgelegt, dass in Deutschland bis zum Jahr 2045 Klimaneutralität erreicht werden soll. Dies erfordert insbesondere in der Industrie ambitionierte Strategien und Maßnahmen. Eine zentrale Entscheidungsgrundlage für die Industrietransformation sind in Politik und Wirtschaft Klimaneutralitätsszenarien.

Klimaneutralitätsszenarien sind in der Regel modellbasierte Zielszenarien. Ausgehend von konsistenten Annahmen beschreiben sie unterschiedliche Pfade zur Erreichung des Ziels einer klimaneutralen Entwicklung (netto Null Emissionen) bis 2045. Im Unterschied zu Prognosen stellen Szenarien nicht einen oder den wahrscheinlichsten Verlauf dar, sondern verschiedene Wege der Zielerreichung. Auch wenn Unsicherheiten in Bezug auf die getroffenen Annahmen bestehen, ermöglichen Szenarien eine Orientierung bei der Entwicklung komplexer Systeme und sind daher etablierte Instrumente der Zukunftsvorschau.

Klimaneutralitätsszenarien basieren mehrheitlich auf Energiesystemmodellen, die sich auf Energieträger fokussieren und Kohlenstoff daher vor allem aus dem Blickwinkel der Strom- und Wärmeerzeugung und der Treibstoffproduktion betrachten. Eine umfängliche Darstellung der Kohlenstoffwirtschaft in einem klimaneutralen Gesamtsystem erfordert neben der energetischen allerdings auch eine stoffliche Betrachtungsebene.

In einem klimaneutralen Gesamtsystem wird es zu einer grundlegenden Umstrukturierung des bisherigen Umgangs mit Kohlenstoff kommen. Kohlenstoff wird auch ohne fossile Quellen ein wichtiger Rohstoff des Wirtschaftssystems bleiben. Zentral wird es aber sein, eine Kreislaufwirtschaft mit geschlossenen Kohlenstoffkreisläufen zu etablieren, um eine Freisetzung von Kohlenstoff in die Atmosphäre zu verhindern und die weiterhin bestehenden Bedarfe für Kraftstoffe und Grundstoffe (Feedstock) z. B. der chemischen Industrie zu decken. Es ergeben sich Fragen nach der Substitution von fossilen Kohlenstoffströmen, bspw. durch Wasserstoff im Verkehr und Kohlenstoff aus Biomasse in der chemischen Industrie.

Eine Kohlenstoffwirtschaft erfordert damit die Berücksichtigung einer weiteren Systemebene, die in ihren komplexen Zusammenhängen noch nicht in Gänze darstellbar ist und aufgrund ihrer Integration mit dem Strom- und Wärmesystem neben der stofflichen auch eine energetische Teilebene aufweist. Dabei geht es um eine integrierte Betrachtung unterschiedlicher Stoffströme, um Wechselwirkungen abbilden zu können. Derartige Aspekte werden in den meisten Klimaneutralitätsszenarien nicht vertieft betrachtet. Eine vollumfängliche Betrachtung der Auswirkungen und Möglichkeiten der Stoffströme einer Kohlenstoffwirtschaft ist aufgrund der Datenlage bislang auch nur eingeschränkt möglich.

2.2 Studienauftrag für den Teilbericht II

Der Teilbericht liefert eine Analyse der Rolle von Kohlenstoffen in einem Klimaneutralitätsszenario des Wuppertal Instituts. Ein zentraler Fokus liegt auf der Analyse von Kohlenstoffströmen innerhalb einer klimaneutralen Wirtschaft. Während bisherige Energiesystemmodelle Kohlenstoff primär aus der Perspektive der Strom- und Wärmeerzeugung sowie der Treibstoffproduktion betrachten, zielt

das Szenario SCI4-KN (SCI4climate.NRW, 2023b) des Wuppertal Instituts darauf, eine zusätzliche Betrachtung der Kohlenstoffströme zu ermöglichen. Hierzu werden die im Projekt SCI4climate.NRW erarbeiteten Erkenntnisse genutzt, die bereits eine erste systematische Erfassung von Kohlenstoffströmen innerhalb der Industrie beinhalten.

Im Rahmen des Teilberichtes werden die Kohlenstoffströme des Szenarios SCI4-KN detailliert erläutert und um zusätzliche, in Unternehmens- und Verbandsdiskussionen erarbeitete Kohlenstoffströme ergänzt. Die Diskussionen, die insbesondere im Rheinischen Revier mit Wirtschaftsakteuren geführt wurden, ermöglichten eine kritische Reflexion der ursprünglichen Annahmen sowie die Identifikation möglicher Alternativen und Einschränkungen für verschiedene Entwicklungspfade.

Das finale Produkt der Studie ist ein Kurzbericht, der die Rolle von Kohlenstoffen in Klimaneutralitätsszenarien beschreibt. Darin enthalten sind eine detaillierte Darstellung der relevanten Kohlenstoffströme, deren Systemintegration im Szenario SCI4-KN sowie eine Analyse der wichtigsten Kohlenstoffströme einer klimaneutralen Wirtschaft. Diese Erkenntnisse sollen dazu beitragen, die zukünftige Rolle von Kohlenstoff innerhalb der Industrie besser zu verstehen und politische sowie wirtschaftliche Handlungsspielräume für die Transformation zu identifizieren.

2.3 Methodik und Systemgrenzen

Das Wuppertal Institut hat auf Basis seiner nationalen Industrieszenarien im vom Land NRW finanzierten Forschungsprojekt „SCI4climate.NRW“ eine Betrachtung der Stoffströme einer Kohlenstoffwirtschaft vorgenommen. Das Szenario „SCI4climate.NRW-Klimaneutralität“ (S4C-KN) berücksichtigt im Unterschied zu anderen Klimaneutralitätsszenarien sowohl energetisch als auch stofflich bedingte Kohlenstoffströme in einem klimaneutralen Gesamtsystem.

Das hier vorgestellte Klimaschutzszenario „SCI4climate.NRWKlimaneutralität“ (S4C-KN) wurde im Rahmen des vom Land NRW finanzierten Forschungsprojekts „SCI4climate.NRW“ entwickelt. Es stellt mögliche künftige Entwicklungen in der energieintensiven Industrie in den Mittelpunkt der Analyse. Das Szenario analysiert diese Entwicklungen im Kontext eines gesamtwirtschaftlichen Transformationspfads hin zu einem klimaneutralen Deutschland im Jahr 2045. Zugleich berücksichtigt das Szenario S4C-KN die klimapolitischen Zielverschärfungen, die von der 2021 gewählten Regierungskoalition aus SPD, Grünen und FDP in ihrem Koalitionsvertrag formuliert wurden. Hierzu zählen v. a. die ambitionierteren Ausbauziele bei den erneuerbaren Energien, die im Szenario entsprechend der im März 2022 veröffentlichten Referentenentwürfe für die Novellen des EEG sowie des Windenergie-auf-See-Gesetzes übernommen wurden.

Im Rahmen der Erstellung des Szenarios S4C-KN wurden insbesondere detaillierte Bottom-up-Modellierungen für die Transformation der Grundstoffindustrie durchgeführt. Dies gilt vor allem für die Herstellung von Stahl, Zement und chemischen Grundstoffen, für die sehr differenzierte Ergebnisse dargestellt werden. Für diese Branchen wurden zudem Fachworkshops mit Vertreterinnen und Vertretern aus der Industrie durchgeführt, in denen vorläufige Ergebnisse des Szenarios diskutiert wurden. Ebenso wurde die zukünftige Rolle der Raffinerien in Deutschland im Rahmen der Entwicklung des Szenarios S4C-KN intensiv beleuchtet. **So wurden zwei vom Hauptszenario grundlegend abweichende Varianten der zukünftigen Rolle der Raffinerien entwickelt und diskutiert.**

Für die Erstellung des Szenarios S4C-KN wurde die WISEE-Modellfamilie genutzt (SCI4climate.NRW, 2023b). Die Modellfamilie teilt sich ein in ein integriertes Modellsystem zur Modellierung der Energiebereitstellung (ESM) sowie verschiedene Modelle bzw. Modellsysteme zur Modellierung der Nachfragesektoren (EDM). Die Modellierung der Energienachfrage und -bereitstellung erfolgte in einem iterativen Prozess, in dem die Gesamtsystementwicklung mehrmals sektorübergreifend abgeglichen und angepasst wurde. Mittels der EDM-Modelle wurden zunächst die Nachfrage nach Energie (Strom, Wasserstoff, Wärme) sowie die THG (Treibhausgase)-Emissionen der Nachfragesektoren errechnet und daraus ein Emissions-Limit für das optimierende Modellsystem ESM abgeleitet. Das HEAT-Modellsystem ermittelte darüber hinaus installierte Kapazitäten von Wärmepumpen und Klein-KWK-Anlagen im Zeitverlauf als weiteren Input für das ESM. Basierend darauf erfolgte jeweils die Modellierung der Bereitstellung der nachgefragten Energie mittels des ESM. Die industrielle Dampfbereitstellung wurde ebenfalls mittels des ESM im Rahmen der Berechnung der Energiebereitstellung modelliert und die mit der Dampfbereitstellung verbundenen CO₂-Emissionen an das EDM-Industry zurückgespielt, so dass diese bilanziell der Industrie zugeordnet werden konnten.

Die Kohlenstoffströme dieses Szenarios wurden in den Jahren 2023 und 2024 im Rheinischen Revier in dem „Zukunftslabor Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft“ des Projektes „IN4climate.RR“ mit Wirtschaftsakteuren diskutiert. Aus diesen Diskussionen wurden Alternativen oder Einschränkungen abgeleitet, die eine Bandbreite möglicher Pfade und möglicher Einschränkungen darstellen. Der Teilbericht wurde im Zeitraum zwischen Mai 2024 und Februar 2025 erstellt.

SCI4climate.NRW Szenario S4C-KN

Das Szenario „SCI4climate.NRW-Klimaneutralität“ (S4C-KN) aus dem vom Land NRW finanzierten Forschungsprojekt „SCI4climate.NRW“ thematisiert die Transformation der Industrie in einem klimaneutralen Gesamtsystem in Deutschland bis zum Jahr 2045. Eine zentrale Annahme des Szenarios ist, dass die energie- und klimapolitischen Zielvorgaben der Bundesregierung erreicht werden (nicht aber zwingend sektorspezifische THG-Minderungsziele). Abbildung 2.1 stellt die zeitliche Entwicklung der THG-Emissionen im Szenario S4C-KN dar.

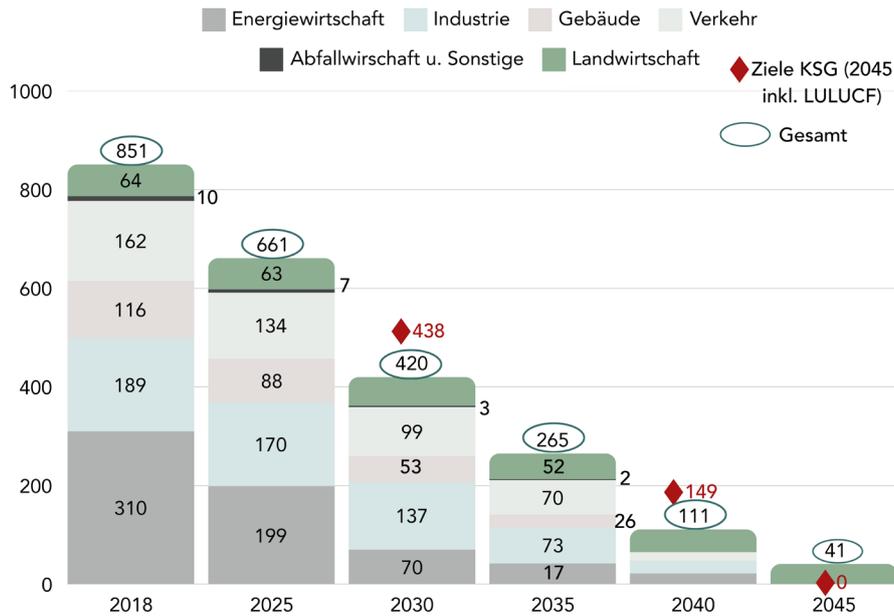


Abb. 2.1: Zeitliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Gesamtsystems (ohne LULUCF und ohne Anrechnung von Negativemissionen durch den Import von grünem Naphtha) (SCI4climate.NRW 2023b: 13)

Im Unterschied zu anderen Klimaneutralitätsszenarien wird neben der energetischen auch die stoffliche Ebene einer zukünftigen Kohlenstoffwirtschaft betrachtet und detaillierte Modellierungen der Entwicklung der energieintensiven Grundstoffindustrie vorgenommen. Es wird dabei davon ausgegangen, dass große Teil der Grundstoffindustrie und der industriellen Wertschöpfungsketten in Deutschland erhalten bleiben und es bis zur Mitte des Jahrhunderts zu keiner deutlichen Änderung der Produktionsmengen in der Grundstoffindustrie kommt.

Weitere Annahmen mit Relevanz für eine klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft sind eine zunehmende Bedeutung der Kreislaufwirtschaft, ein möglicher Import klimaneutraler Energieträger und Grundstoffe sowie eine ausreichende gesellschaftliche Akzeptanz für CO₂-Abscheidung und Speicherung für nicht vermeidbare industrielle CO₂-Emissionen (CCS) und den Aufbau eines CO₂-Transportnetzes.

Die Ausführungen zum Szenario „SCI4climate.NRW-Klimaneutralität“ (S4C-KN) mit dem Fokus auf der Kohlenstoffwirtschaft beruhen auf einer zusammenfassenden Darstellung des Gesamtberichts von SCI4climate.NRW (2023b) „Treibhausgasneutralität bis 2045 – Ein Szenario aus dem Projekt SCI4climate.NRW“. Darin lassen sich weiterführende Informationen zur energetischen Dimension der Industrietransformation und hier nicht dargestellten quantitativen Modellierungsergebnissen finden.

2.4. Überblick über wichtige Kohlenstoffströme im klimaneutralen Zielsystem

Abbildung 2.2 stellt die wichtigsten Kohlenstoffströme in Deutschland entsprechend im modellierten klimaneutralen Zielsystem im Jahr 2050 des S4C-KN Szenarios dar. Berücksichtigt werden auch für das nationale System bedeutsame Importe und Exporte von kohlenstoffhaltigen Produkten bzw. CO₂.

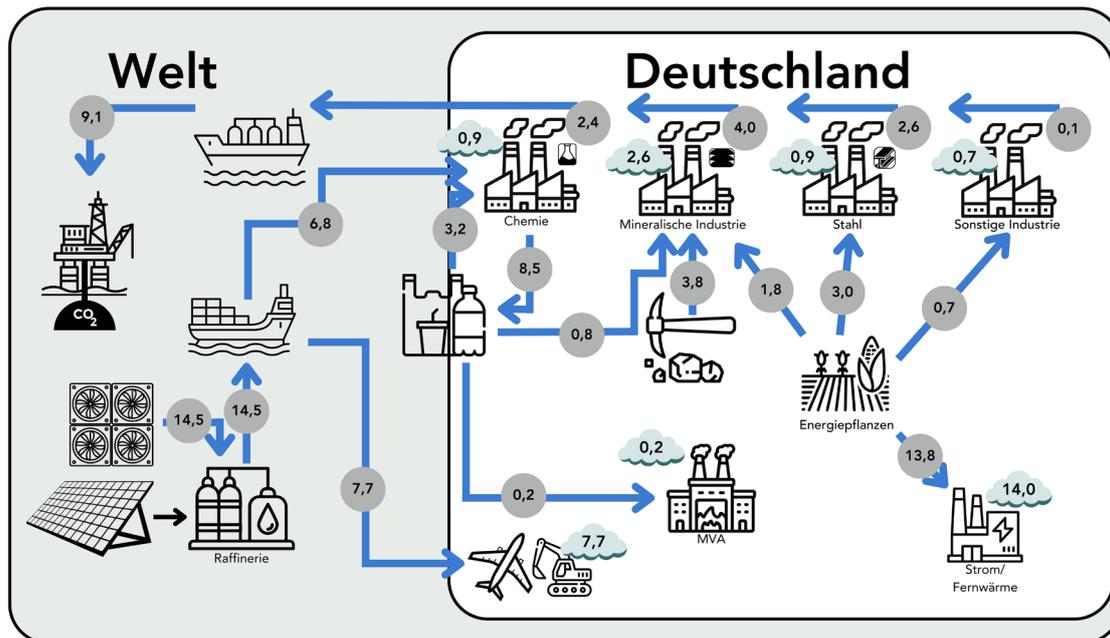


Abb. 2.2 (und Hinweis): Überblick über verbleibende zentrale Kohlenstoffflüsse im klimaneutralen Zielsystem, Jahr 2050 (SCI4climate.NRW 2023b: 16)

Hinweis: Alle Zahlenwerte stehen für Mio. t Kohlenstoff. Die Zahlen in den grauen Kreisen beziehen sich auf Kohlenstoffmengen in Form von Produkten, Rohstoffen, Biomasse und CO₂, die gezielt durch das System geführt werden. Wolken stellen die C-Menge in CO₂-Emissionen in die Atmosphäre in Höhe von insgesamt 26,8 Mio. t Kohlenstoff (bzw. 98 Mio. t CO₂) dar, wobei sowohl fossile als auch biogene C-Mengen und C-Mengen aus DAC umfasst sind. Diesen entgegen stehen Kohlenstoff-Entnahmen aus der Atmosphäre durch DAC und Biomasse in Höhe von 33,8 Mio. t Kohlenstoff, so dass der Atmosphäre infolge der dargestellten Kohlenstoffflüsse im Jahr 2050 rund 7,1 Mio. t Kohlenstoff bzw. 26 Mio. t CO₂ entzogen werden. Die Abbildung zeigt nicht sämtliche Kohlenstoffflüsse (nicht aufgeführt sind z. B. die Nutzung von Biomasse für Biopolymere, im Holzbau und in der Papierindustrie, der Nahrungsmittelanbau und Abfallströme außer Kunststoffabfällen).

Neben dem Hauptszenario S4C-KN werden im Szenariobericht von SCI4climate.NRW (2023b) auch andere denkbare Kohlenstoffflüsse vergleichend dargestellt, die hier ebenfalls berücksichtigt werden. Dies betrifft einerseits Szenario-Varianten für den Raffineriesektor und andererseits für den Umgang mit nicht oder schwer vermeidbaren CO₂-Mengen aus der mineralischen Industrie. Neben der im Hauptszenario getroffenen Annahme einer Abscheidung und Speicherung dieser industriellen CO₂-Mengen bei gleichzeitigem Import von synthetischen Kraftstoffen und chemischen Grundstoffen auf Basis von Kohlenstoff aus DAC-Anlage („Import/CCS“) wird auch der Vergleichsfall einer inländischen Verwendung des industriellen CO₂ für die Erzeugung von Kohlenwasserstoffen und Methanol (CCU_{CH}) betrachtet (siehe Abbildung 2.3).

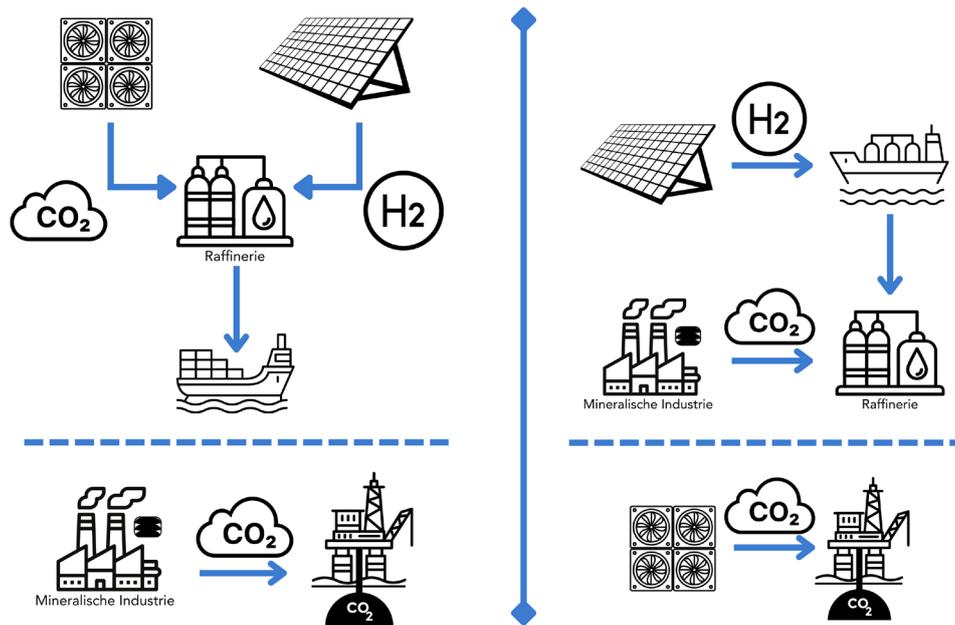


Abb. 2.3: Vergleich: Import von Kraftstoffen und Grundstoffen in Kombination mit geologischer Speicherung industrieller CO₂-Mengen („Import/CCS“, links) sowie inländisches CCUCH unter Verwendung von importiertem Wasserstoff in Kombination mit DACCS („CCUCH/DACCS“, rechts) (SCI4climate.NRW 2023b: 96)

Die nachfolgenden Ausführungen erläutern zentrale Systemelemente einer Kohlenstoffwirtschaft gemäß dem Szenario S4C-KN (und seiner Varianten), ihre Verbindungen sowie ihre politischen, wirtschaftlichen und infrastrukturellen Implikationen.

Industrielle Emissionen und CCS

Eine zentrale Annahme für die Kohlenstoffwirtschaft in Klimaneutralitätsszenarien betrifft den Umgang mit nicht oder schwer vermeidbaren prozessbedingten CO₂-Mengen aus der Industrie. Dies betrifft in erster Linie CO₂-Mengen durch den Abbau und die Entsäuerung von Kalkstein in der mineralischen Industrie (Zement- und Kalkindustrie). Klimaneutralitätsszenarien unterscheiden sich in zwei Pfaden des Umgangs mit diesen industriellen Emissionen:

1. Inländische CO₂-Abscheidung und Nutzung für die Treibstoffproduktion und als Grundstoff in der chemischen Industrie (CCU)
2. Dauerhafte Abscheidung und geologische Speicherung (CCS) bei Import von grünem Kohlenstoff aus Ländern mit kostengünstigen erneuerbaren Energien

Im S4C-KN Szenario wird die Annahme getroffen, dass die nicht vermeidbaren CO₂-Mengen der Zementindustrie über CCS-Verfahren direkt an den Industriestandorten abgeschieden und dauerhaft geologisch gespeichert werden⁸⁸.

Dies erfordert bis zum Jahr 2045 den Aufbau einer überregionalen CO₂-Infrastruktur, die den Transport von CO₂ von den Punktquellen zu Seehäfen (bspw. Rotterdam, Wilhelmshaven) und eine offshore Speicherung in der Nordsee ermöglicht.

⁸⁸ Für Standorte der Klinkerproduktion in Süddeutschland, die nicht an die CO₂-Infrastruktur angebunden werden, wird von einer Bindung des abgeschiedenen CO₂ über Mineralisierung in Produkten ausgegangen.

Eine Abscheidung und Speicherung erfolgt auch bei den verbleibenden CO₂-Emissionen der Chemie-, Stahl- und Primäraluminiumindustrie, die ebenfalls an die CO₂-Infrastruktur angeschlossen werden. Die Glasindustrie wird in dem Szenario nur an Standorten mit der CO₂-Infrastruktur verbunden, die eine geringe räumliche Distanz zu anderen Industrien mit CCS haben. CCS im Energie-, Verkehrs- und Gebäudesektor ist in dem Szenario nicht vorgesehen, da energiebedingte CO₂-Emissionen durch die Nutzung von erneuerbaren Energien und Wasserstoff weitestgehend vermieden werden.

Der Aufbau einer überregionalen CO₂-Infrastruktur ist ein ambitioniertes Vorhaben, das sowohl Regulierung und Planung auf unterschiedlichen Politikebenen, als auch öffentlich-private Kooperationen voraussetzt. Erforderlich sind zudem zwischenstaatliche Vereinbarungen zwischen Herkunftsländern des CO₂ und Ländern, die Speicherstätten betreiben. Eine wichtige Grundvoraussetzung ist neben verlässlichen Technologieoptionen für die Abscheidung, den Transport und geologische Speicherung der CO₂-Emissionen auch eine ausreichende gesellschaftliche Akzeptanz, von der in diesem Szenario als Annahme grundsätzlich ausgegangen wird.

Kompensation industrieller Restemissionen über negative Emissionen mit BECCS

Eine vollständige CO₂-Abscheidung ist in der Industrie technisch nicht möglich bzw. kann nicht an allen Standorten erfolgen, weshalb industrielle Restemissionen entstehen. Für das Erreichen von Klimaneutralität sind daher negative Emissionen notwendig.

Im S4C-KN Szenario wird von einer Kompensation der industriellen Restemissionen über negative Emissionen aus dem Einsatz von Bioenergie in Kombination mit CO₂-Abscheidung und Speicherung (BECCS) ausgegangen. Biogener Kohlenstoff wird im Rahmen des BECCS Verfahrens über abfallbasierte Brennstoffe mit biogenen Kohlenstoffanteilen in der Zementindustrie sowie über Bioenergie in der Stahl-, Zement-, Kalk- und Glasindustrie verwendet.

Dafür ist ein ausreichendes Angebot an Bioenergie aus nachhaltigen und regionalen Quellen zu schaffen. Eine Grundvoraussetzung ist auch hier eine CO₂-Infrastruktur, mit der das CO₂ aus der Verbrennung von Biomasse in Industrieanlage abgeschiedenen und zu Speicherstätten transportiert werden kann.

Negative Emissionen müssten ohne eine entsprechende Infrastruktur und natürliche CO₂-Senken ansonsten über eine Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre über Direct Air Capture (DAC)-Anlagen und eine dauerhafte CO₂-Speicherung (DACCS) erreicht werden. Dieser Technologiepfad wird in anderen Klimaschutzenszenarien zugrunde gelegt, geht aber mit Herausforderungen in Bezug auf Energieeinsatz, Kosten und Flächeninanspruchnahme einher.

CCU (Kraftstoffe und chemische Grundstoffe)

Im S4C-KN Szenario spielt die Abscheidung und wirtschaftliche Nutzung von Kohlenstoff zur Deckung der in einem klimaneutralen Zielsystem weiterhin bestehenden Kohlenstoffbedarfe eine wichtige Rolle. Langfristig ist von einem großen Bedarf an nicht fossilem Kohlenstoff auszugehen. Aufgrund der direkten Abscheidung und dauerhaften Speicherung der prozessbedingten fossilen CO₂-Mengen der mineralischen Industrie kann dieser Kohlenstoff aber keiner stofflichen Nutzung für die Produktion von Kraftstoffen und chemischen Grundstoffen zugeführt werden, wodurch es zu einer Trennung des CCS- und CCU-Pfads kommt.

Die Abscheidung und wirtschaftliche Nutzung von Kohlenstoff für die Herstellung von Kraftstoffen und chemischen Grundstoffen erfolgt im S4C-KN Szenario über den Import von synthetischen Kraftstoffen und synthetischen Grundstoffen für die Chemieindustrie. Deren Herstellung erfolgt durch

den Einsatz von atmosphärischem Kohlenstoff aus DAC-Anlagen. Aufgrund der Energieintensität findet dieses Verfahren in Ländern mit kostengünstigen erneuerbaren Energien sowie ausreichender Flächen- und Wasserverfügbarkeit statt.

Die Chemieindustrie importiert 2050 grüne Grundstoffe (synthetisches Naphtha und Methanol) aus dem Ausland. „Grünes“ Naphtha hat in Deutschland mit mehr als der Hälfte des Bedarfs an Grundstoffen weiterhin einen hohen Anteil.

Es wird von einem deutlich gesunkenen Bedarf an Kohlenwasserstoffen im Verkehr ausgegangen, der nach 2040 vollständig durch importierte flüssige synthetische Kraftstoffe auf Basis von Wasserstoff und CO₂ (E-Fuels) gedeckt wird. Nachfrager für E-Fuels sind neben Spezialfahrzeugen in erster Linie der Flugverkehr und die Seeschifffahrt. Bei einer umfassenden Elektrifizierung und Verwendung von Wasserstoff im Verkehrssektor ist in Deutschland bis 2040 eine Eigenversorgung mit fossilen Kraftstoffen bilanziell möglich.

In Übereinstimmung mit dieser Nachfrageentwicklung wird in dem Szenario ein schrittweiser Abbau von Raffineriekapazitäten angenommen, der mit der Schließung der letzten Raffinerien ab den 2040er Jahren zu einem Netto-Import von synthetischen Kraftstoffen führt.

Voraussetzung für dieses Szenario ist die Etablierung eines Weltmarkts für synthetische Grundstoffe und einer Transportinfrastruktur für die importierten Stoffe. Es wird angenommen, dass aufgrund der niedrigen Transportkosten für flüssige Kohlenwasserstoffe auch eine Herstellung in entfernten Ländern erfolgen kann. Nach der Einfuhr in Europa (bspw. über die Ölhäfen Rotterdam, Wilhelmshaven, Brunsbüttel und Rostock) kann ein Transport zu inländischen Flughäfen und Chemieparks über existierende Produktpipelines, Binnenschifffahrt oder Bahntransport erfolgen.

Eine weitere Bedingung für grüne synthetische Grundstoffe in der Chemieindustrie ist, dass diese „klimapositiv“ bewertet werden, dass also das CO₂ in Produkten im Rahmen einer Emissionsgut-schrift mit dem bei der Herstellung der Grundstoffe aus der Atmosphäre entnommenen CO₂ ausgeglichen werden kann.

Im S4C-KN Hauptszenario hat daneben Biomasse als grüne Kohlenstoffquelle eine bestimmte, wenn auch eingeschränkte Bedeutung (ab 2040 auch als Energieträger). Resultierend aus einem begrenzten Butadien- und Benzol-Output in den getroffenen Annahmen zu HVC-Pfaden kommen im Jahr 2050 Biopolymere für etwa 9 % der HVC-Basis auf.

Es wird davon ausgegangen, dass heimische Biomasse (einschließlich Anbaubiomasse) in einem Umfang genutzt wird, der nach dritten Quellen als nachhaltig eingeschätzt wird. Ein nicht unerheblicher Teil wird energetisch und stofflich in der Industrie verwendet. Biomasse wird per Annahme ab dem Jahr 2045 nur in Verbindung mit BECCS verwendet

Die im Ausgangszustand noch auf fossilem Kohlenstoff basierende Produktion wird damit bis 2050 auf zirkuläre bzw. grüne Produktionsverfahren umgestellt. Alternative fossile Kohlenstoffquellen (bspw. Shalegas) spielen in Deutschland im Unterschied zu anderen europäischen Ländern aufgrund der fehlenden Transportinfrastruktur keine Rolle.

Kohlenstoffbasierte Produkte

Kohlenstoffbasierte Rohstoffe werden in der Chemieindustrie für die Herstellung von Kunststoffprodukten benötigt. Diese fließen in dem modellierten Szenario nach ihrer Nutzung über ein mechanisches und chemisches Recycling wieder in die Kunststoffproduktion ein, werden in der Zementindustrie thermisch genutzt oder kommen Müllverbrennungsanlagen (MVA) zu.

CO₂-Emissionen aus der Verbrennung und thermischen Nutzung von Kunststoffabfällen werden im

Szenariomodell als fossile Emissionen bilanziert. Unsicherheiten bestehen bei der Bindungsdauer von grünem Naphtha in Produkten, weshalb der aus der Atmosphäre dafür entnommene Kohlenstoff im Szenario nicht als negative Emissionen angerechnet wird.

Szenario-Varianten für den Raffineriesektor

Die klimaneutrale Transformation des Energiesystems führt zu großen Veränderungen im Raffineriesektor, da von einer umfangreichen bis vollständigen Senkung der Nachfrage nach fossilen Mineralölprodukten ausgegangen wird. Im Hinblick auf die Petrochemie und den Raffineriesektor werden daher neben dem Hauptszenario weitere Pfade für mögliche Kohlenstoffströme betrachtet, die sich insbesondere in der Art der chemischen Grundstoffe und der Bedeutung des Imports von Kohlenstoffen unterscheiden.

Neben der im Hauptszenario getroffenen Annahme eines vollständigen Imports synthetischer grüner Kohlenwasserstoffe bis 2040 werden die beiden Raffinerie-Varianten „Fossile Feedstock Raffinerie“ und „grüne NRW-Fischer-Tropsch-Raffinerie“ betrachtet. Gemeinsamkeit der drei Varianten ist, dass die in Zukunft deutlich gesunkene Nachfrage nach Kohlenwasserstoffen im Verkehrssektor durch synthetische Kraftstoffe gedeckt wird.

- Die im Hauptszenario getroffene Annahme eines Imports von synthetischen Kohlenwasserstoffen ist auch aus Kostengründen die verbreitetste Variante in Klimaschutzszenarien. Risiken in Bezug auf Versorgungssicherheit könnten durch eine hohe Diversifizierung von Exportländern ausgeglichen werden. Vorteile liegen insbesondere in der Herstellung von Grundstoffen über DAC und grünen Wasserstoff, wodurch sich eine echte Senkenleistung für CO₂ und damit negative Emissionen aus der Herstellung von Grundstoffen ergeben.
- Bei der fossilen Feedstock-Raffinerie, als möglichem strukturkonservativen Übergangsszenario, wird weiterhin fossiler Kohlenstoff zur stofflichen Nutzung (v. a. in Kunststoffen) verwendet. Es kommt zu einem Import von „grünen“ Kraftstoffen und (fossilem) Rohöl. Für Klimaneutralität sind umfangreiche Kompensationen etwa über DACCS notwendig. Ein Unterschied zum Hauptszenario sind auch höhere Strombeschaffungskosten durch die inländische Raffinierung und Elektrifizierung von Steamcrackern. Aus industriepolitischer Sicht können Vorteile bei der Sicherung von Standorten und Beschäftigung liegen. Über die Weiternutzung von fossilen Rohstoffen können sich Risiken in Bezug auf zukünftige Rohstoffverfügbarkeit auf dem Weltmarkt, Kosten und Akzeptanzprobleme bei zunehmenden Betriebsauflagen ergeben.
- Bei der „grünen NRW-Fischer-Tropsch-Raffinerie“ wird eine in Deutschland angesiedelte Raffinerie zur Produktion von synthetischen Kraftstoffen eingesetzt. Es könnte eine hohe Selbstversorgung mit Kohlenwasserstoffen erreicht werden, allerdings bei zunehmender Abhängigkeit von Biomasse- und Wasserstoffimporten. Für eine umfassende Bewertung dieser Variante im Hinblick auf Kosten und THG-Emissionen ist eine Systemperspektive notwendig. Denkbar wäre die Variante bei einer angestrebten Selbstversorgung europäischer Länder mit Kraft- und Grundstoffen.

Vergleich der Varianten „Import/CCS“ (Hauptszenario) und „CCU_{CH}/DACCS“ (Alternativpfad)

Eine zentrale Annahme im Szenario S4C-KN ist der Import von synthetischen Kraftstoffen und chemischen Grundstoffen auf Basis von Kohlenstoff aus DAC-Anlagen mit der geologischen Speicherung industrieller CO₂-Mengen („Import/CCS“). Die Frage nach dem Umgang mit einerseits den

nicht vermeidbaren Emissionen aus der mineralischen Industrie und andererseits den weiterhin bestehenden Bedarfen an Kohlenstoff in der chemischen Industrie und für Treibstoffe legen allerdings auch eine inländische Verwendung des industriellen CO₂ für die Erzeugung von Kohlenwasserstoffen und Methanol (CCU_{CH}) nahe.

Es wird in dem Szenariobericht daher auch der Vergleichsfall betrachtet, bei dem für verbleibende Bedarfe an Kohlenwasserstoffen für Flugzeugtreibstoffe und Kunststoffe inländische industrielle CO₂ Emissionen und importierter Wasserstoff in Kombination mit einer Kompensation über DACCS verwendet wird („CCU_{CH}/DACCS“). Die Prämisse der beiden Pfade ist, dass beide Ansätze zu einem klimaneutralen Zielsystem führen und den Bedarf an Kohlenstoff in der Chemie- und Kraftstoffindustrie decken (siehe Tabelle 2.1) für einen Vergleich der beiden Szenario-Varianten).

	Import/CCS (Hauptszenario)	CCU_{CH}/DACCS (Alternativpfad)
CO ₂ -Abscheidung	CO ₂ -Abscheidung an Industrieanlagen	
CO ₂ -Speicherbedarf	prinzipiell identisch	
DAC CO ₂ -Menge	prinzipiell identisch	
Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> • DAC-Anlagen in Herkunftsländern synthetischer Stoffe („Sweet Spots“ für erneuerbare Energien) • Transport industrieller CO₂-Mengen zu Offshore-Speicherstätten • Transportinfrastrukturen für Import flüssiger Kohlenwasserstoffe und Methanol (prinzipiell vorhanden) 	<ul style="list-style-type: none"> • DAC-Anlagen in räumlicher Nähe zu CO₂-Speicherstätten • CO₂-Transport von Industrieanlagen zu Standorten der CO₂-Nutzung • H₂-Transport nach Deutschland

Tabelle 2.1: Vergleich der Szenario-Varianten „Import/CCS“ (Hauptszenario) und „CCU_{CH}/DACCS“ (Alternativpfad) (In Anlehnung an SCI4climate.NRW 2023b)

Eine Gemeinsamkeit ist in beiden Varianten die CO₂-Abscheidung an Industriestandorten und die CO₂-Speichermengen. Während bei der Variante „CCU_{CH}/DACCS“ aber eine geringe Entfernung von DAC-Anlagen und CO₂-Speicher vorteilhaft ist, sind im Hauptszenario bei der Annahme „Import/CCS“ die Transportnetzwerke zwischen Industriestandorten und Speicherstätten entscheidend (sowie von DAC-Anlagen und Produktionsstandorten von synthetischen Stoffen in den Exportländern). Es kann von einer identischen Menge des mit DAC-Anlagen aus der Atmosphäre entnommenen CO₂ ausgegangen werden, die im Wesentlichen dem industriellen Kohlenstoffdurchfluss bei der Herstellung von Kunst- und Kraftstoffen entspricht („CCU_{CH}/DACCS“: Ableitung aus zu kompensierenden CO₂-Emissionen, „Import/CCS“: Ableitung aus verwendeten Kraft- und Grundstoffen).

Beide Varianten unterscheiden sich besonders in der benötigten Transportinfrastruktur. Ein erhöhter Bedarf für CO₂-Transport ergibt sich in der Variante „Import/CCS“ aus der Leitung von industriellem CO₂ von Seehäfen zu geologischen Speicherstätten, wohingegen in der Variante „CCU_{CH}/DACCS“ ein Wasserstofftransport nach Deutschland erfolgen muss. Aus den Effizienzverlusten beim Wasserstofftransport folgt dabei ein deutlicher erhöhter Energiebedarf. Beim Transport von Kohlenstoffen können in größerem Maße bestehende Transportoptionen genutzt werden. Aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen wird im Szenario S4C-KN daher von einem Import von synthetischen Kraftstoffen und Grundstoffen (Variante „Import/CCS“) und nicht der heimischen Produktion ausgegangen.

Allerdings können staatliche Regulierung und Partnerschaften mit Exportländern von Wasserstoff zu Änderungen in der zugrunde gelegten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung führen. Eine sinnvolle Möglichkeit für den CCU_{CH} Pfad der heimischen Produktion von synthetischen Kraftstoffen und Grundstoffen kann in einer Übergangphase (ca. 2030-2045) zu einem klimaneutralen Zielsystem bestehen, wenn die Rahmenbedingungen für „Import/CCS“ noch nicht vorhanden sind. Einschränkende Faktoren könnten jedoch die Verfügbarkeit von Wasserstoff und die Amortisationszeiten der erforderlichen Anlagen sein.

Einen Ausnahmefall bilden Standorte, bei denen langfristig keine sinnvolle Option für eine Abscheidung und geologische Speicherung von CO_2 -Mengen besteht. Für das Erreichen von Klimaneutralität wird angenommen, dass die CO_2 -Emissionen an diesen Standorten in beiden Varianten über DACCS kompensiert werden.

2.5 Unternehmens- und Institutsperspektiven aus dem Rheinischen Revier

Die im Projekt „SCI4climate.NRW“ modellierten Kohlenstoffströme bieten eine Grundlage zum Verständnis einer zukünftigen Kohlenstoffwirtschaft, basieren aber nur auf einem Szenario. Die Ergebnisse wurden mit Wirtschaftsakteuren im Rheinischen Revier diskutiert, woraus sich auch alternative Pfade und Entwicklungen sowie etwaige Einschränkungen ableiten lassen.

Die Diskussionen fanden im Rahmen des „Zukunftslabors Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft“ des vom Land NRW finanzierten Projektes „IN4climate.RR“ statt. Das Ziel des Zukunftslabors ist die Entwicklung eines Gesamtbilds für eine industrielle Transformation mit Fokus auf die Kohlenstoffwirtschaft. Es sollen Kohlenstoffflüsse im Rheinischen Revier, Potentiale für eine Substitution von fossilen durch grünen Kohlenstoff und erforderliche Technologiepfade identifiziert werden. Ein weiterer Aspekt sind auch mögliche Impulse für die regionale Wertschöpfung und die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle (Zeiss, 2025c).

Die Diskussionen fanden im räumlichen Kontext des Rheinischen Reviers statt, thematisierten aber auch allgemeine Aspekte des Aufbaus einer Kohlenstoffwirtschaft, die nachfolgend zusammenfassend dargestellt werden (siehe Abbildung 2.4 für eine Übersicht der Diskussionsthemen).



Abb. 2.4: Diskussionsthemen im „Zukunftslabor Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft“ des Projekts „IN4climate.RR“ (eigene Darstellung)

In der Diskussion wurde schnell deutlich, dass die beispielhafte Struktur des Szenarios aus S4C-KN nicht alle für das Rheinische Revier zentralen Pfade abbildet. In Abbildung 2.5 ist ein von den Akteuren des Zukunftslabors als zentral identifizierter Pfad von den Energiepflanzen zur chemischen Industrie ergänzt worden. Die für das Verständnis der Kohlenstoffwirtschaft im Revier besonders relevanten Pfade sind in grün und gelb hervorgehoben und wurden im Zukunftslabor intensiv diskutiert.

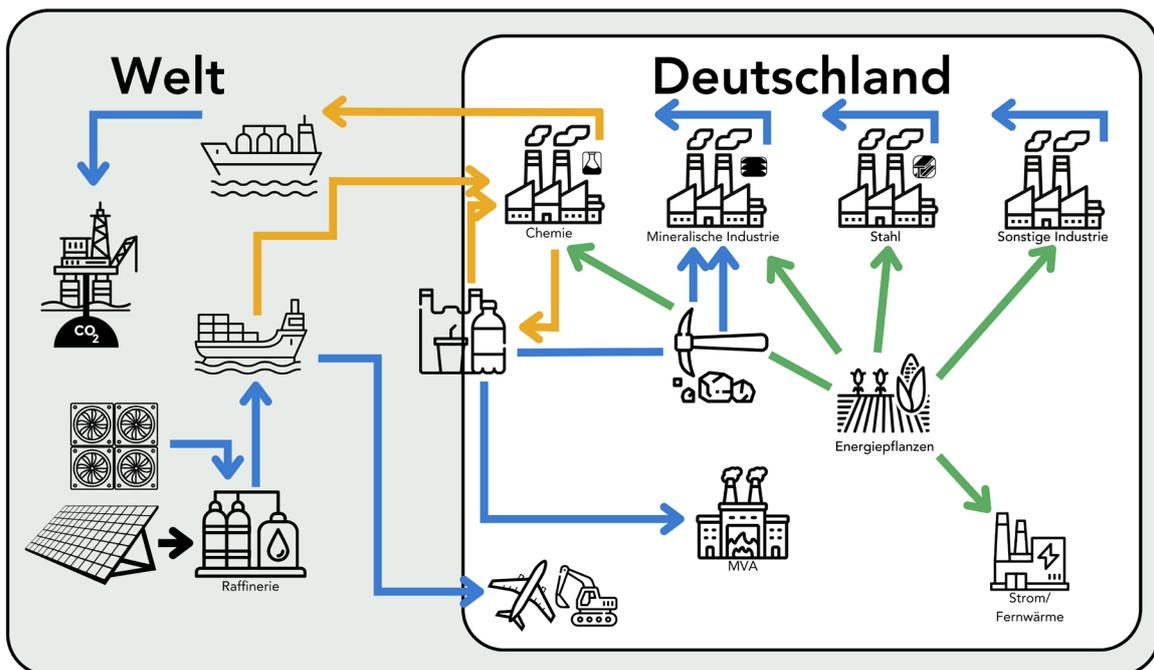


Abb. 2.5: Übersicht einer zukünftigen Kohlenstoffwirtschaft auf Basis von Klimaneutralitätsszenarien mit Ergänzung aus dem Zukunftslabor Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft von IN4climate.RR (in Anlehnung an SCI4climate.NRW 2023b: 16)

CO₂-Infrastruktur:

Es wurde über die CO₂-Infrastruktur diskutiert, die sich aus den modellierten Kohlenstoffströmen im Szenario S4C-KN ergibt und für eine Vernetzung von Kohlenstoffquellen, Speicherstätten und potenziellen Nutzern erforderlich ist. Ein regionaler Transportbedarf ergibt sich insbesondere von industriellen Punktquellen bis zu Transporthubs. Im Rheinischen Revier wird dieser Transport gemäß Einschätzung der Diskussionsteilnehmenden des Zukunftslabors am ehesten über Schienentransport als durch eine Pipeline-Anbindung stattfinden. Als konkrete Herausforderungen wurden bislang fehlende Genehmigungen und der noch unklare regulative Rahmen hervorgehoben. Diese Aspekte werden als überregionale Themen mit hoher Dringlichkeit bewertet.

CCU und Kohlenstoffquellen:

Im Zukunftslabor wurde die im Szenario vertretene zentrale Annahme eines Imports von synthetischen Kraft- und Grundstoffen diskutiert (anstatt der Nutzung von nicht vermeidbaren CO₂-Mengen aus den Prozessen von heimischen Industrieunternehmen). Aufgrund der fehlenden Punktquellen sind CCU-Prozesse auf der Grundlage prozessbedingter CO₂-Emissionen im Rheinischen Revier auch nicht vorstellbar.

Es wurde aber dafür plädiert, die stoffliche Nutzung industrieller Emissionen im erweiterten Raum (v. a. Rheinschiene) und auf nationaler Ebene zu berücksichtigen, da dies für einen umfassenden Blick auf die Kohlenstoffwirtschaft von Bedeutung sei. Aspekte der Bilanzierung und Wirtschaftlichkeit sollten näher untersucht werden. CCU / Synthese (bspw. Pyrolyse) an Müllverbrennungsanlagen könnte einen weiteren zu berücksichtigenden Technologiepfad darstellen.

Allerdings sind die prozessbedingten CO₂-Mengen etwa in der mineralischen Industrie fossilen Ursprungs, so dass daraus erzeugte Produkte (z. B. SynFuels) nicht klimaneutral sind. Aus heutiger Sicht kann dies für eine Übergangszeit als Effizienztechnologie sinnvoll sein, eine Investition in einen Technologiepfad, der heute schon absehbar endlich ist, erscheint aber nicht sinnvoll. Vor dem Hintergrund wurde auch diskutiert, Wertschöpfungsketten für Produkte mit einer langfristigen Kohlenstoffbindung zu entwickeln.

In den Diskussionen wurde hervorgehoben, dass alle nachhaltigen Kohlenstoffquellen und nicht nur biogene Stoffe zu berücksichtigen sind. Der Fokus einer nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft sollte aufgrund der begrenzten Flächenverfügbarkeit und der Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion nicht nur auf Biomasse liegen. Grundsätzlich berücksichtigt werden sollte neben CO₂ aus industriellen Punktquellen auch Kohlenstoff aus DAC-Anlagen, biogenen Reststoffen, chemisch recycelten Kunststoffen und organisch belasteten Erden. Holz sollte zukünftig in einem Kaskadenprozess genutzt und erst im letzten Schritt für die Verbrennung verwendet werden.

Forstwirtschaft:

Ein weiteres Diskussionsthema war die Senkenfunktion der Forstwirtschaft. Es sollte berücksichtigt werden, in welchen Bereichen CO₂-Emissionen unter Nutzung von Holz eingespart werden könnten. Einschränkend wurden dabei die begrenzten Potentiale von Wirtschaftswäldern genannt. Holzersatz durch Fasern sollte ebenfalls in Erwägung gezogen werden. Der Austausch zwischen Industrie, Gesellschaft, Forschung und Forstwirtschaft sollte dafür gestärkt werden.

Biobasierte Produkte und ihrer Syntheserouten:

Es fand eine Diskussion zu biobasierten Produkten und ihren Syntheserouten statt. Dabei ging es im Wesentlichen um die Frage, ob es zu Veränderungen in den Produkten von Unternehmen kommt oder sich nur andere Syntheserouten für die Herstellung der Ausgangsmaterialien ergeben. Ein Beispiel aus dem Projektkontext ist die Herstellung von Alltagsprodukten wie Tellern und Bechern aus

Pektin aus Rübenschnitzelabfällen. Die Einschätzung der Diskussionsteilnehmenden ist, dass es für Unternehmen nur wenig Veränderungen gibt, wenn Produkte auf der Grundlage von biogenem Kohlenstoff hergestellt werden. In vielen Bereichen würden Produkte wie Verpackungen oder Polymere damit weiter zur Verfügung stehen. Ebenfalls diskutiert wurden Wachstumspotentiale bei biobasierten Produkten und Märkten. Diese werden vor allem bei ungenutzten Reststoffen, Dämmmaterialien aus Holz oder auch Design for Recycling Konzepten gesehen.

Produktionskosten klimafreundlicher Produkte:

Ein weiteres Thema waren die in der Regel höheren Produktionskosten von klimafreundlichen Produkten und die Zahlungsbereitschaft dafür bei den Endverbraucher*innen. Als wichtigster Faktor für die Erhöhung der Zahlungsbereitschaft wurde benannt, dass nachhaltige Produkte sich durch eine höhere Qualität und einen Mehrwert gegenüber konventionellen Produkten kennzeichnen sollten. Dies kann sich auf verschiedene Eigenschaften des Produkts wie Komfort, Erlebnis, Image oder Haltbarkeit beziehen. Informationsangebote und Best-Practice-Sustainability-Products könnten der Vermittlung dieses Mehrwerts dienen. Ein einheitliches Nachhaltigkeits-Label einer offiziellen, unabhängigen Stelle würde eine verlässliche Grundlage für die Bewertung von klimafreundlichen Produkten sein. Ebenfalls diskutiert wurde, ob über regulative Maßnahmen der Preis von klimafreundlichen und konventionellen Produkten angeglichen werden sollte.

Rolle von Regionen und regionale Wertschöpfung:

Regionen können in einer zukünftigen Kohlenstoffwirtschaft unterschiedliche Rollen einnehmen. Sie können als Räume für die Bereitstellung von Biomasse aus der Landwirtschaft, als Produktionsstandort für Zwischenprodukte für die chemische Industrie, den Anlagen und Komponentenbau für die Bereitstellung und Verarbeitung von grünem Kohlenstoff und als Forschungsstandorte fungieren. Damit einher gehen verschiedene Auswirkungen auf die regionale Wertschöpfung und Beschäftigung. Grundsätzlich bestand in den Diskussionen ein Einverständnis, dass eine regionalisierte Betrachtungsweise von Bedeutung ist, um diese wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen einer zukünftigen Kohlenstoffwirtschaft adäquat adressieren zu können. Erforderlich sei auch eine Analyse von Technologiekomponenten, die bereits heute in Regionen produziert werden und die als Keimzellen künftiger Wertschöpfungsketten einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft fungieren können.

Governance der Kohlenstoffwirtschaft:

Neben alternativen Kohlenstoffströmen und den Auswirkungen auf die regionale Wertschöpfung wurden auch Fragen der Governance, d. h. der kooperativen Steuerung einer zukünftigen Kohlenstoffwirtschaft diskutiert. Als Faktoren einer erfolgreichen Governance wurden folgende Aspekte identifiziert:

- Etablierung einer Modellregion für eine nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft
- Beschleunigung von Genehmigungsverfahren bei neuen Technologien und Infrastrukturen
- Institutionalisierung von Vernetzungsformaten zwischen Unternehmen, Politik und Wissenschaft
- Identifizierung vorhandener Biomasse- und Kohlenstoffströme zur Ermöglichung von Innovationen und integrierter Planung
- Generierung von Wissen und Informationsvermittlung zu neuen Technologien (bspw. Pilotprojekte, Technologietransfer)
- Nutzung der Vorteile der Digitalisierung bei der intelligenten Vernetzung von Prozessen und Rohstoffen

2.6 Zusammenfassung und Fazit

Klimaneutralitätsszenarien wie S4C-KN aus dem Projekt „SCI4climate.NRW“ verdeutlichen, dass es im Zuge der klimaneutralen Transformation zu einer grundlegenden Veränderung der wirtschaftlichen Nutzung von Kohlenstoff kommen wird. Entscheidend wird die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft sein, um eine Freisetzung von fossilem Kohlenstoff in die Atmosphäre zu verhindern und zugleich die weiterhin bestehenden Kohlenstoffbedarfe für Grundstoffe für die Chemieindustrie zu decken.

Wie das Szenario S4C-KN, aber auch andere Klimaneutralitätsszenarios zeigen, werden CCS und CCU zentrale Technologiepfade sein. CCS-Verfahren werden insbesondere für die nicht vermeidbaren CO₂-Emissionen der mineralischen Industrie und zur Realisierung negativer Emissionen eingesetzt. CCU-Pfade sind für die Versorgung der Industrie mit Kohlenstoff notwendig.

Wichtige Unterschiede in den Szenarien für eine Kohlenstoffwirtschaft liegen in den Annahmen zu den genutzten Kohlenstoffquellen für CCU und insbesondere der Frage, ob auch fossile Prozess-emissionen aus der Industrie einbezogen werden sollen. Je nach Ausgestaltung und Verbindung der CCS- und CCU-Pfade ergeben sich unterschiedliche infrastrukturelle, wirtschaftliche und regulative Implikationen, welche für die Realisierung einer nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft zu berücksichtigen sind.

Es bestehen dabei zahlreiche offene Fragen zur systemischen Ausgestaltung einer zukünftigen Kohlenstoffwirtschaft, die sich um die zentralen Herausforderungen der Vermeidung von zusätzlichen CO₂-Emissionen und der Deckung von weiterhin bestehenden industriellen Kohlenstoffbedarfen drehen, u. a.:

- Wie gelingt eine vollständige Kreislaufführung von Kohlenstoff?
- Welche Importe von synthetischen Kraft- und Grundstoffen werden notwendig sein?
- Welche klimafreundlichen Kohlenstoffquellen sind grundsätzlich einsetzbar?
- Wie kann die benötigte CO₂-Infrastruktur aufgebaut werden?
- Wie können Recyclingraten bei Grundstoffen erhöht werden?
- Wie ist eine langfristige Bindung von Kohlenstoff in Produkten möglich?
- Wie wird mit dem vorhandenen Kohlenstoff in der Technosphäre umgegangen?

Wie die Diskussionen mit Wirtschaftsakteuren im Rheinischen Revier andeuten, kann die Etablierung einer Kohlenstoffwirtschaft neben positiven Klimaeffekten auch Potentiale für regionale Wertschöpfung und Beschäftigung freisetzen. Entscheidend ist dafür eine Berücksichtigung der jeweiligen räumlichen Rahmenbedingungen im Hinblick auf Kohlenstoffströme und bestehende Technologiepotentiale als auch die Implementierung geeigneter Governanceformate unter Beteiligung von Unternehmen, Politik und Forschung.

2.7 Literatur

SCI4climate.NRW. (2023b). *Treibhausgasneutralität in Deutschland bis 2045—Ein Szenario aus dem Projekt SCI4climate.NRW*. Wuppertal Institut & Institut der deutschen Wirtschaft. https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/Ergebnisse_SCI4climate.NRW/Szenarien/2023/treibhausgasneutralitaet-in-deutschland-bis-2045-szenario-cr-sci4climate.nrw.pdf

Zeiss, C. (2025c). *Zentrale Aspekte einer akteursbasierten Diskussion und Umsetzung einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft*.

TEILBERICHT III



Bewertung von Kohlenstoffströmen und deren Wertschöpfungspotentiale

3.1 Einführung: Kohlenstoffkreisläufe

Aktuell laufen auf EU- und nationaler Ebene intensive Prozesse zur Organisation und Strukturierung einer zukünftigen Kohlenstoffwirtschaft. Dabei müssen zahlreiche Themen parallel berücksichtigt werden, wie zum Beispiel der Umgang mit unvermeidbaren CO₂-Emissionen aus der Industrie, die Nutzung und Konkurrenzsituation von Biomasse sowie der Aufbau von Infrastrukturen für den Transport und die Speicherung von CO₂. Politische und regulatorische Rahmenbedingungen beeinflussen maßgeblich, welche Geschäftsmodelle möglich oder ausgeschlossen sind. Die Vielzahl unterschiedlicher Kohlenstoffnutzungs- und Verarbeitungswege macht die Einschätzung und Bewertung potenzieller Geschäftsmodelle komplex und aufwendig.

Die treibende Motivation für den Wandel weg von fossilen Rohstoffen ist der Klimaschutz. Daher müssen alle Modelle und Pfade robust gegenüber den Anforderungen der Klimaneutralität sein. Eine umfassende Betrachtung der Kohlenstoffströme ermöglicht eine klare Einschätzung, ob ein Geschäftsmodell klimaneutral ist oder ob weitere Maßnahmen erforderlich sind, um den Kohlenstoffkreislauf zu schließen. Da Klimaschutz das zentrale politische Ziel darstellt, bietet eine solche Betrachtung auch Aufschluss darüber, ob ein kohlenstoffbasiertes Geschäftsmodell langfristig tragfähig und politisch gewollt ist.

Ein entscheidender Meilenstein ist das Jahr 2045, da ab diesem Zeitpunkt Geschäftsmodelle mit Treibhausgasemissionen in Deutschland aufgrund der Klimaneutralitätsziele nicht mehr zulässig sein werden. Angesichts der kurzen verbleibenden Zeitspanne von etwa 20 Jahren sollten diese Vorgaben bereits heute in Investitionsentscheidungen für Infrastrukturen und Geschäftsmodelle einbezogen werden. Dieser Bericht gibt eine Übersicht über grundlegende Bewertungsaspekte einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft und zeigt Beispiele aus unterschiedlichen Zukunftsvisionen.

3.2 Studienauftrag für den Teilbericht III

Eine Wertschöpfung mit Kohlenstoff in einer klimaneutralen Industrie setzt voraus, dass Kohlenstoff insgesamt klimaneutral genutzt wird. Das beinhaltet Systemüberlegungen zum Einsatz von atmosphärischem oder biogenem Kohlenstoff, Aspekte der Kreislaufwirtschaft, CCUS-Konzepte, Kompensationsmöglichkeiten für Restemissionen und auch Fragen nach negativen Emissionen. Zusätzlich ist die Einordnung der Bewertung von Kohlenstoffpfaden zentral für die aktuelle Erarbeitung von politischen Rahmenbedingungen wie der nationalen Carbon Management Strategie sowie für die Einordnung der Kompatibilität von Prozess- und Wertschöpfungsketten zur Klimaneutralität. Daraus lassen sich z. B. auch heute schon potentielle Marktakteure für die Erzeugung von negativen Emissionen ableiten. Daher werden in diesem Teilbericht zentrale Aspekte zu der Bewertung von Kohlenstoffströmen aus einer Klimaneutralitätsperspektive dargestellt und auf Basis der aktuellen Literatur beschrieben. Dazu gehören eine Darstellung der Systemzusammenhänge und Optionen einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft sowie Angaben zu potentiellen Marktakteuren bei der Erzeugung von negativen Emissionen (CDR).

3.3 Methodik und Systemgrenzen

Eine Wertschöpfung mit Kohlenstoff in einer klimaneutralen Industrie setzt voraus, dass der Kohlenstoff insgesamt klimaneutral genutzt wird. Das beinhaltet Systemüberlegungen zum Einsatz von atmosphärischem oder biogenem Kohlenstoff, Aspekte der Kreislaufwirtschaft, CCUS-Konzepte, Kompensationsmöglichkeiten für Restemissionen und auch Fragen nach negativen Emissionen. Zusätzlich ist die Einordnung der Bewertung von Kohlenstoffpfaden zentral für die aktuelle Erarbeitung von politischen Rahmenbedingungen wie der nationalen Carbon Management Strategie sowie für die Einordnung der Kompatibilität von Prozess- und Wertschöpfungsketten zur Klimaneutralität. Daraus lassen sich z. B. auch heute schon potentielle Marktakteure für die Erzeugung von negativen Emissionen ableiten.

Dieser Teilbericht beschreibt zentrale Aspekte der Bewertung von Kohlenstoffströmen aus einer Klimaneutralitätsperspektive, stellt die Systemzusammenhänge und Optionen einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft dar und skizziert potentielle Marktakteure bei der Erzeugung von negativen Emissionen (CDR).

Die Definition der klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft und der möglichen Akteure für Negative Emissionen fasst die Erkenntnisse aus nationalen Klimaneutralitätsszenarien (SCI4climate.NRW, 2023b), den Formaten zur Kohlenstoffwirtschaft aus NRW (Zeiss, 2025c), aktuellen Strategien der Bundesregierung (BMWK, 2024e, 2024a) sowie der EU (Europäische Kommission, 2024) und internen Diskussionen des Wuppertal Instituts zusammen.

Die Darstellung der grundsätzlichen Zusammenhänge der Kohlenstoffströme basiert auf einem vereinfachten Modell der globalen Ökosphäre auf Basis von Grundlagen der Kohlenstoffkreisläufe des IPCC (IPCC, 2021). Der Teilbericht wurde im Zeitraum zwischen Mai 2024 und Februar 2025 erstellt.

3.4 Grundlagen einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft

3.4.1 Definition einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft

Die Kohlenstoffwirtschaft beschäftigt sich mit der Bereitstellung, Verarbeitung, Nutzung und Speicherung von Kohlenstoffen zur Herstellung kohlenstoffhaltiger Produkte. Sie basiert auf der Grundannahme, dass klimaneutrale Kohlenstoffpfade bilanziell keine zusätzlichen klimawirksamen Kohlenstoffmengen aus der Lithosphäre in die Atmosphäre entlassen. Langfristig soll die Kohlenstoffwirtschaft einen Beitrag dazu leisten, klimawirksamen Kohlenstoff aus der Atmosphäre zu entfernen um damit dem Treibhausgaseffekt entgegenzuwirken. Eine weitere Grundannahme ist, dass Kohlenstoff ein Element darstellt, das aufgrund seiner vielfältigen Anwendungs- und Nutzungsmöglichkeiten auch in einer klimaneutralen Industrie weiter einen zentralen Stellenwert haben wird. Viele heute schon vorhandene Industriezweige sind aus dieser Sichtweise Bestandteil der Kohlenstoffwirtschaft, es werden im Zuge der Transformation zur klimaneutralen Industrie und der Abkehr des Einsatzes von fossilen Kohlenstoffquellen aber noch weitere Wertschöpfungsoptionen hinzukommen. Die klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft ist eine Betrachtungsebene, die Systemzusammenhänge sowie direkte und indirekte Wechselwirkungen zwischen bereits etablierten Wirtschaftsbereichen über Kohlenstoffströme sichtbar macht. Wichtige Teilbereiche der klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft sind daher die Bioökonomie, die Kreislaufwirtschaft, die Land- und Forstwirtschaft und die kohlenstoffbasierte Chemieindustrie.

Die **Bereitstellung von Kohlenstoff** wird, wie heute, einen wichtigen Faktor in der Aufstellung der Wertschöpfung in Deutschland darstellen.

- Biogene Kohlenstoffe aus der Land- und Forstwirtschaft werden zentrale Quellen für die Herstellung chemischer Produkte darstellen und stehen in direkter Flächen-Verfügbarkeits- und Preis-konkurrenz zu anderen Biomassenutzungsoptionen. Insbesondere Rest- und Abfallstoffe bieten sich für eine stoffliche Nutzung an, werden aber von vielen Akteuren bereits nachgefragt. Die heimische Produktion von Biomasse wird die absehbare Nachfrage nach biogenem Kohlenstoff nicht befriedigen können, der Import wird daher eine wichtige Rolle spielen. In welcher Form biogener Kohlenstoff in Zukunft importiert werden wird, ist noch nicht klar, derzeit werden verschiedene Optionen abgewogen.
- Atmosphärischer Kohlenstoff über Direct Air Capture hat in allen Klimaneutralitätsszenarien eine wichtige Rolle, trotz des hohen Energieaufwandes dieser Technologie. Nennenswerte Mengen werden in Deutschland absehbar aufgrund der im Vergleich zu anderen Regionen geringeren Verfügbarkeit Erneuerbarer Energien nur über Importe eine Rolle spielen.
- Eine weitere Kohlenstoffquelle stellt die Nutzung bereits verarbeiteten Kohlenstoffs aus der Technosphäre dar, zum Beispiel aus Kunststoffabfällen oder Altreifen. Diese Mengen werden zur Deckung des Kohlenstoffbedarfes sehr wahrscheinlich benötigt, sind aber zum überwiegenden Teil aus fossilem Kohlenstoff hergestellt. Daher ist es notwendig, diese Mengen in einem eng kontrollierten Kreislauf zu führen, um treibhausgaswirksame Freisetzung von CO₂ zu verhindern.
- Es gibt auch Prozesse zur Produktion von Kalk und Zement, bei denen aufgrund des im Kalk gebundenen Kohlenstoffes prozessbedingte CO₂-Mengen anfallen. Da wir auch weiter diese Produkte benötigen, muss ein Umgang damit gefunden werden, der verhindert, dass klimawirksame Mengen in die Atmosphäre gelangen.
- Die Bereitstellung von Kohlenstoff durch biotechnologische Methoden ist ebenfalls eine Option, die allerdings mengenmäßig eingeschränkt ist und sich eher auf die Produktion von konkreten Produkten ausweitet.

Die **Verarbeitung von Kohlenstoffen** beinhaltet eine Vielzahl von Prozess- und Umwandlungstechnologien, da gebundener Kohlenstoff eine Vielzahl von Eigenschaften annehmen kann und die organische Chemie sich seit langer Zeit mit der Anwendung dieser Potentiale beschäftigt. Wichtige Branchen sind die chemische Industrie, die zum Beispiel Verpackungskunststoffe oder Klebstoffe herstellt. Auch die Verarbeitung von Holz im Baubereich oder in der Möbelindustrie wird weiterhin eine Rolle spielen. Wichtige Umwandlungstechnologien sind beispielsweise die Pyrolyse, die Methanisierung oder die Vergärung.

Bei der **Nutzung von Kohlenstoff** muss in einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft zwingend eine Kreislaufführung mitgedacht werden. Solange Kohlenstoff nicht energetisch verwertet wird, können nach Ende der Nutzung (zum Beispiel in der Bauwirtschaft oder bei Kunststoffabfällen) weitere Nutzungspfade eingebunden werden. Dazu gehört auch ein Sammlungs- und Aufbereitungssystem, um die eingesetzten Kohlenstoffprodukte in einer wirtschaftlich nutzbaren Menge zur Verfügung zu haben. Bei Einbindung von ursprünglich fossil basierten Kohlenstoffmengen muss diese Kreislaufführung geschlossen sein, um keine treibhausgaswirksamen Kohlenstoffmengen in die Atmosphäre zu entlassen. Die Behandlung von Mischströmen aus fossil und biogen basierten Kohlenstoffmengen setzt zumindest eine bilanzielle Trennung und einen differenzierten Umgang mit den Kohlenstoffmengen voraus.

Die langfristige **Speicherung von Kohlenstoffen** bietet für fossil basierten Kohlenstoff die Möglichkeit einer klimaneutralen Bilanz, für biogen oder atmosphärisch basierten Kohlenstoff sogar die Möglichkeit negative Emissionen zu realisieren. Für die Produktion von Kalk und Zement werden Pipelines benötigt, die das entstehende CO₂ abtransportieren und an entsprechende Speicherorte (zum Beispiel ehemalige Erdgaslagerstätten) transportieren. Hier bietet sich auch die Option der Einspeisung von CO₂ aus biogenen Quellen und damit die Erzeugung negativer Emissionen. Eine Nutzung des anfallenden CO₂ aus der Kalk- und Zementproduktion in CCU-Prozessen ist möglich, allerdings mit hohem Energieaufwand verbunden. Zusätzlich müssen die erzeugten Produkte den Kohlenstoff so langfristig binden, dass er keine Klimawirksamkeit mehr entfalten kann. Daher fallen viele Nutzungsmöglichkeiten für diesen Pfad weg.

Eine klimaneutrale Kohlenstoffnutzung setzt voraus, dass keine zusätzlichen klimawirksamen Kohlenstoffmengen in die Atmosphäre gelangen oder es zumindest einen bilanziellen Ausgleich durch negative Emissionen gibt (Pfeiffer et al., 2024). Da es aber eine Vielzahl von möglichen Pfaden inklusive Kreisläufen gibt, ist eine Betrachtung der einzelnen Bereiche, in denen Kohlenstoffe vorkommen, notwendig:

Lithosphäre: Die Lithosphäre ist der Bereich der Erdkruste, in dem sich erdgeschichtlich Kohlenstoffe angesammelt haben. Diese Kohlenstoffe stammen entweder aus anorganischen Sedimenten oder aus organischen Prozessen. Dieser Kohlenstoffspeicher ist erdgeschichtlich sehr stabil gewesen und hat nur wenig Kohlenstoff wieder in die Atmosphäre freigesetzt. Durch die anthropogene Nutzung und Freisetzung von Kohlenstoff in Form von Erdgas, Erdöl, Kohle und Kalkgesteinen erwärmt sich die Erdatmosphäre zunehmend (IPCC, 2021). Jegliche Entnahme von Kohlenstoff aus der Lithosphäre führt zu einer weiteren Erderwärmung, außer der Kohlenstoff wird nach seiner Nutzung so umgewandelt, dass er langfristig gebunden ist und nicht als klimawirksames Gas wieder in die Atmosphäre entweicht. Die Speicherung von CO₂ in ausgeförderten Gasfeldern (CCS) ist eine Methode zur Rückführung von Kohlenstoff in die Lithosphäre.

Technosphäre: Die Technosphäre ist der gesamte von Menschen und dessen Technologien erschaffene Bereich. In diesem Bereich sind kohlenstoffbasierte Produkte in großer Menge vorhanden, werden genutzt und gelagert (Haff, 2014). Dabei handelt es sich um alle kohlenstoffbasierten Produkte wie Kunststoffe oder Straßenbeläge. Dabei ist es unerheblich, ob sich diese Produkte in der Nutzungsphase oder zum Beispiel auf einer Deponie befinden. Diese Kohlenstoffmengen sind fast ausschließlich fossilen Ursprungs und können über Prozesse wie das chemische Recycling oder andere Verfahren der Kreislaufwirtschaft wieder in eine Nutzung überführt werden. Derzeit werden sie allerdings überwiegend thermisch verwertet, damit gehen die Kohlenstoffe aus der Technosphäre in die Atmosphäre über.

Atmosphäre: Bei der Atmosphäre handelt es sich um die gasförmige Hülle des Planeten Erde. Die trockene Atmosphäre besteht fast ausschließlich aus Stickstoff (78,1 %) und Sauerstoff (20,9 %), zusammen mit einer Reihe von Spurengasen wie Argon (0,93 %), Helium und Treibhausgasen (THGs) wie Kohlendioxid (CO₂) (0,04 % Volumenummischungsverhältnis) Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) und Ozon (O₃) (IPCC, 2022).

Biosphäre: Der Teil des Erdsystems, der alle Ökosysteme und Lebewesen, also Organismen umfasst, in der Atmosphäre, an Land (terrestrische Biosphäre) oder in den Ozeanen (Marine Biosphäre),

einschließlich abgeleiteter toter organischer Substanz, wie Abfall, organische Bodensubstanz und ozeanischen Detritus (IPCC, 2022).

Weitere Bereiche wie die Hydrosphäre und die Cryosphäre sind für die Betrachtung der Klimaerwärmung wichtig, spielen bei der Pfadbetrachtung der heimischen Industrie jedoch nur eine kleine und indirekte Rolle und werden hier nicht vertieft betrachtet.

3.4.2 Kohlenstoffpfade am Beispiel der Kunststoffproduktion

In einem einfachen Beispiel (Abbildung 3.1) wird auf Basis von Erdöl aus der Lithosphäre in einem Hydrocracker das Erdöl aufgespalten und die Kohlenstoffe als Grundlage einer Kunststoffproduktion verwendet. Das Kunststoffprodukt wird nach Ende seiner Nutzungszeit über eine Müllverbrennungsanlage energetisch verwertet, das entstehende CO₂ wird in die Atmosphäre entlassen.

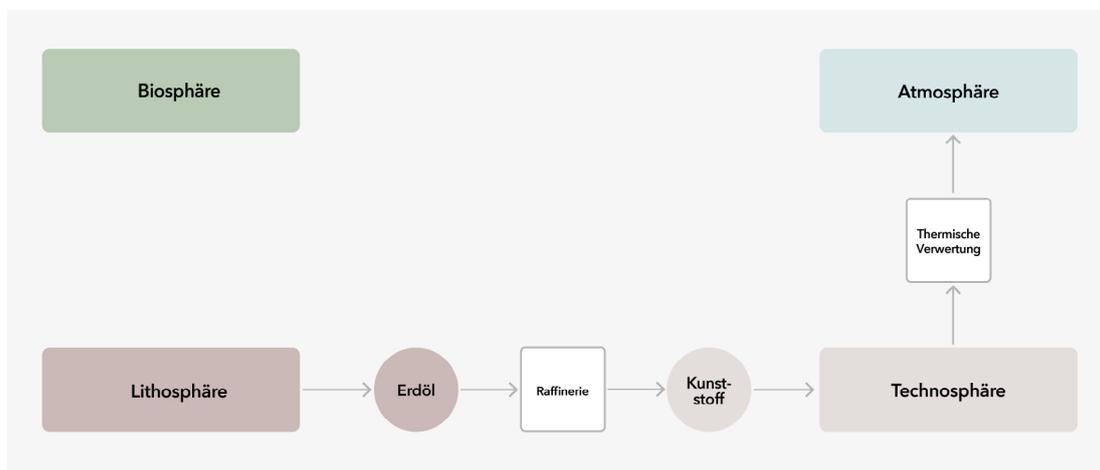


Abb. 3.1: Vereinfachter Kohlenstoffpfad konventioneller Kunststoff

Bei einer Darstellung von Pfaden einer klimaneutralen Kunststoffproduktion auf Basis fossiler Rohstoffe werden die Pfadbeziehungen deutlich komplexer. Das in Abbildung 3.2 gezeigte Beispiel behält die erdölbasierte Kunststoffproduktion bei. Auch hier wird das Kunststoffprodukt nach Ende der Nutzungsdauer eingesammelt. Als eine Kreislaufwirtschaftsoption ist hier das chemische Recycling gezeigt, durch das der Kohlenstoff wieder in die Produktion eingespeist werden kann. Zusätzlich wird das CO₂ aus der Verbrennung des Kunststoffes in einer Müllverbrennungsanlage aufgefangen, abgetrennt, über Pipelines zu einer Speicherstätte transportiert und da eingespeichert. Diese Pfade setzen aber voraus, dass die Kunststoffe vollständig in einen der beiden Pfade eingespeist werden und es nicht z. B. zum Export von Abfallmengen kommt. Zusätzlich ist der energetische und wirtschaftliche Aufwand für die beiden Pfade sehr hoch. Da eine Abscheidung von CO₂ in den entsprechenden Anlagen nicht zu 100 % erfolgt, braucht es hier auch weitere Optionen (wie zum Beispiel eine Kompensation durch negative Emissionen), die in dieser vereinfachten Darstellung aber nicht betrachtet sind.

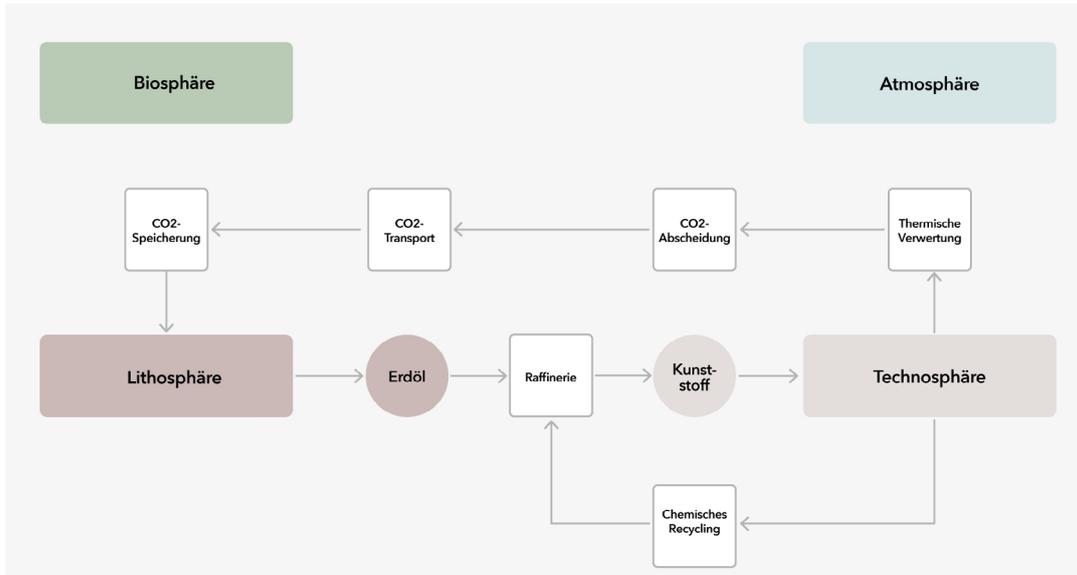


Abb. 3.2: Vereinfachte klimaneutrale Kunststoffproduktion mit CCS

Die Einbeziehung von biogenem und atmosphärischem Kohlenstoff in Abbildung 3.3 zeigt die Komplexität der Vermischung von biogenen, atmosphärischen und fossil basierten Kohlenstoffen. Während der biogene und der atmosphärische Anteil klimaneutral wieder in die Atmosphäre entweichen können, muss der fossile Anteil des Kohlenstoffes zumindest im Kreislauf geführt werden. Die Nachverfolgung des jeweiligen Anteils in den Produkten und Stoffströmen ist dabei komplex und setzt ein umfassendes Zertifizierungs- und Kontrollsystem voraus. Sollte wie in diesem Bild außerdem weiter fossiler Kohlenstoff in das System eingebunden werden, erhöht sich der Vorrat fossilen Kohlenstoffes in der Technosphäre immer weiter. Daher gehört unter dieser Betrachtung zu einem vollständigen Bild auch eine Methode, den fossilen Kohlenstoff wieder aus dem System zu entfernen.

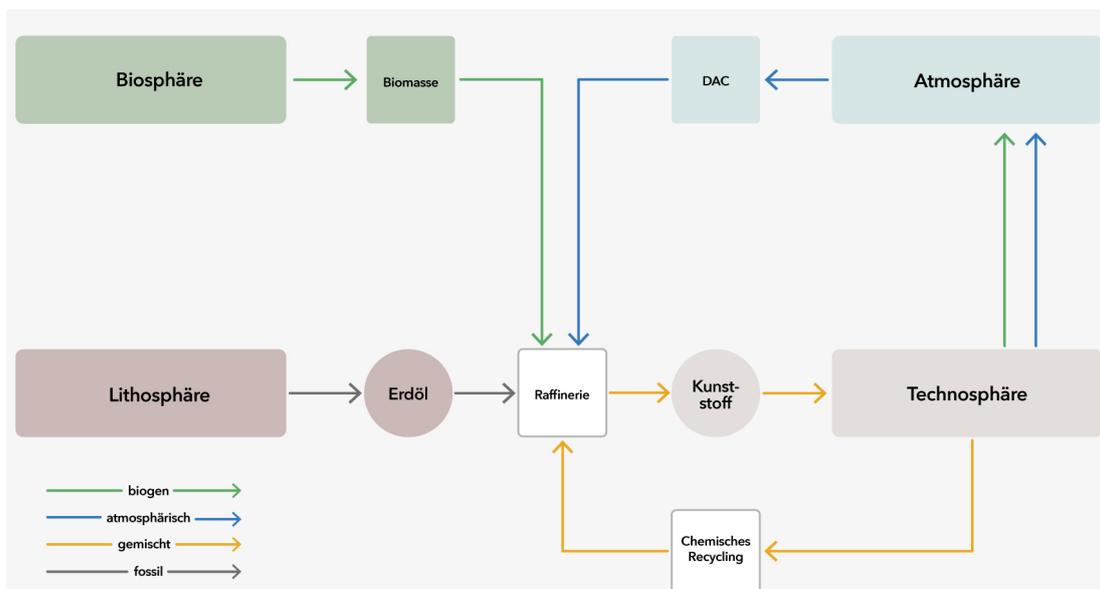


Abb. 3.3: Vereinfachte Darstellung einer klimaneutralen Kunststoffproduktion mit biogenem und atmosphärischem Kohlenstoff

Das ist in Abbildung 3.4 dargestellt, in dem ein zusätzlicher CCS-Pfad eingebunden wurde. Der Aufbau einer CCS-Infrastruktur ermöglicht zusätzlich bei Einspeisung von Kohlenstoffmengen aus der Biosphäre oder der Atmosphäre die Erzeugung negativer Emissionen. Allerdings wäre der systemische Aufwand bei Verzicht auf fossil basierten Kohlenstoff deutlich geringer, sofern genügend anderer Kohlenstoff zur Verfügung steht.

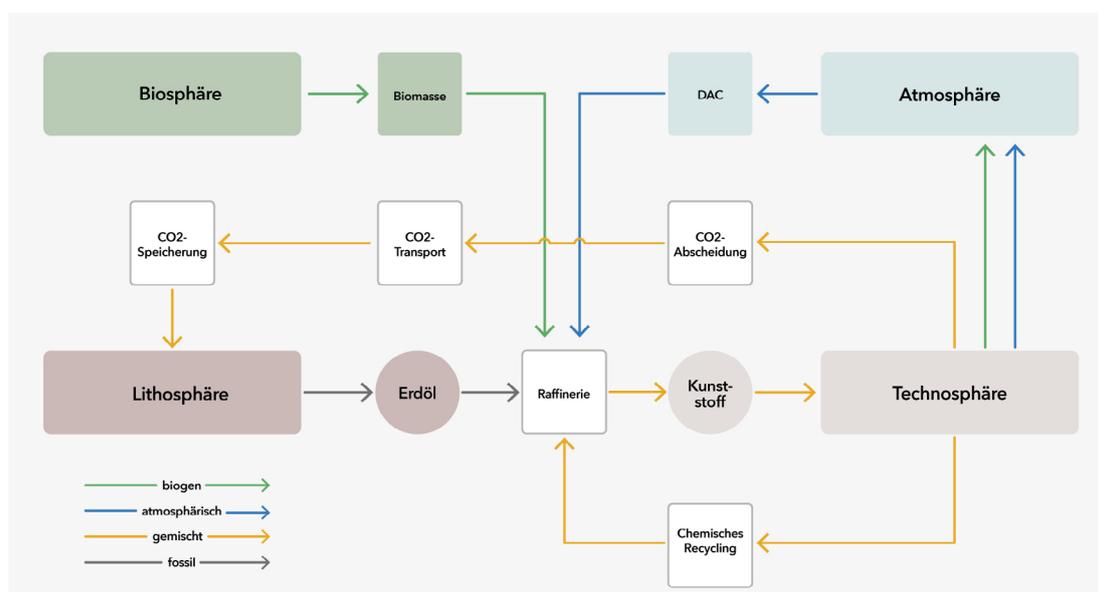


Abb. 3.4: Vereinfachte Darstellung einer klimaneutralen Kunststoffproduktion mit biogenem und atmosphärischem Kohlenstoff inkl. CCS-Pfad

Sonderfall Negative Emissionen

Negative Emissionen werden durch menschliche Aktivitäten erzielt, die der Atmosphäre CO_2 , oder andere THG entziehen und diese möglichst dauerhaft in geologischen, terrestrischen oder ozeanischen Reservoirs oder in Produkten speichern. Diese Aktivitäten werden daher auch als CO_2 -Entnahme, engl. Carbon Dioxide Removal (CDR) oder THG-Entnahme bezeichnet. Die Entnahme von CO_2 aus der Atmosphäre kann durch biologische, geochemische oder durch chemische Aktivitäten erfolgen (BMWK, 2024c). Daher muss es immer eine nachvollziehbare Verbindung zwischen der Entnahme aus der Atmosphäre und der langfristigen Speicherung des Kohlenstoffes geben. Sobald fossiler Kohlenstoff aus der Lithosphäre oder der Technosphäre genutzt wird, ist ein klimaneutraler Kohlenstoffpfad möglich, negative Emissionen aber nicht. Die in Abbildung 3.5 gezeigten beispielhaften technischen Pfade zur Erzeugung von Negativemissionen durch BECCS und Biokohle werden ergänzt durch weitere Möglichkeiten zum Beispiel durch Landnutzungsänderungen.

BECCS ist eine Bioenergienutzung, zum Beispiel durch Zufeuerung in Zementwerken, deren aufgefangene CO_2 -Mengen abgeschieden und durch Pipelines in unterirdische geologische Lagerstätten eingespeichert werden. Da der finanzielle und systemische Aufwand für dieses System voraussichtlich für die möglichen Erlöse durch negative Emissionen nicht zu finanzieren ist, wird derzeit davon ausgegangen, dass die nötigen Infrastrukturen für schwer und nicht vermeidbare CO_2 -Mengen aus Industrieprozessen errichtet werden (SCI4climate.NRW, 2021a). Diese Infrastrukturen könnten dann für die Erzeugung negativer Emissionen mitgenutzt werden.

Für Biokohle werden pflanzliche Ausgangsstoffe pyrolytisch verkohlt, eine Einarbeitung in landwirtschaftliche Böden ermöglicht eine langfristige Speicherung.

Herkunft des Kohlenstoffes: Kohlenstoff kann aus verschiedenen Quellen genutzt werden, die jeweils andere Voraussetzungen haben.

- **Lithosphäre:** Hier handelt es sich grundsätzlich um Kohlenstoff fossilen Ursprungs, dessen Freisetzung in die Atmosphäre als Treibhausgas zur Erderwärmung beiträgt. Die wichtigsten Kohlenstoffquellen sind Erdöl, Erdgas, Braun- und Steinkohle sowie kalkhaltige Gesteine.
- **Technosphäre:** Dieser Kohlenstoff wurde bereits verarbeitet und zu Produkten geformt. Dazu gehören zum Beispiel Kunststoffe, Autoreifen oder teer- oder bitumenhaltige Straßenbeläge. Die heute in der Technosphäre enthaltenen Kohlenstoffe sind überwiegend fossilen Ursprungs, mengenmäßig fällt derzeit nur Holz als Baustoff ins Gewicht (16,5 % des globalen Kohlenstoffvorrats in der Technosphäre in 2015 (Kaufmann et al., 2024). Bei der Nutzung von Kohlenstoff aus der Technosphäre muss also heute davon ausgegangen werden, dass es einen hohen fossilen Anteil gibt, außer es werden konkrete biogene Reststoffe wie Bauholz verwendet.
- **Biosphäre:** Kohlenstoff aus der Biosphäre wird derzeit grundsätzlich als klimaneutral angesehen, da der darin enthaltene Kohlenstoff durch Photosynthese aus der Atmosphäre entnommen wurde. Im Gesamtsystem kann aber zusätzlich noch fossiler Kohlenstoff eingesetzt worden sein, sei es durch Herstellung und Nutzung von Düngemittel oder den Transport der Biomasse. Zusätzlich ist der Anbau von Biomasse immer auch mit Umweltauswirkungen verbunden.
- **Atmosphäre:** Der in der Atmosphäre enthaltene Kohlenstoff kann durch Direct Air Capture entnommen und genutzt werden. Der CO₂-Gehalt der Atmosphäre ist allerdings sehr gering, daher sind hohe Energieaufwendungen aus erneuerbaren Energien notwendig. Bei der Weiterverarbeitung des CO₂ zu Kohlenwasserstoffen (z. B. für die organische Chemie) sind zusätzlich große Energiemengen z. B. für den benötigten grünen Wasserstoff notwendig. Daher wird derzeit angenommen, dass nennenswerte DAC-Kapazitäten dort entstehen, wo erneuerbare Energien in großen Mengen und zu geringen Kosten vorhanden sind (IEA, 2022).

Lebensdauer der Produkte mit Kohlenstoff: Ein weiteres wichtiges Kriterium ist der Zeitraum, in dem Kohlenstoff in Produkten gebunden werden kann. Die EU-Kommission schlägt für die Anrechnung von negativen Emissionen im Rahmen des europäischen Emissionshandels eine Bindungsdauer von „zumindest mehreren Jahrhunderten“ vor (Council of the European Union, 2024). Auf Basis dieser Definition können fossil basierte Kohlenstoffe nicht mehr in kurzlebigen Anwendungen wie zum Beispiel Treibstoffen oder mittelfristigen Anwendungen wie im Baubereich genutzt werden. Anwendungen, in denen die Materialien durch eine Wiederverwendung im Kreislauf gehalten werden können, wären nach dieser Definition möglich. Allerdings ist die reine Möglichkeit der Kreislaufführung nicht ausreichend, um als permanent gebunden zu gelten, die Kreislaufführung muss schon der „normale Nutzen“ der Produkte sein.

Dokumentation der Zusammensetzung und des Verbleibs des Kohlenstoffs: Um nachvollziehbar die Kohlenstoffbilanz eines Produktes nachweisen zu können, braucht es Dokumentationen der Herkunft, der Verwendung und des finalen Verbleibs des Kohlenstoffes. Entsprechende Nachweisysteme werden sich entwickeln, zumindest eine Dokumentation ähnlich einer Lieferkette wird in Zukunft notwendig sein. Es wird einen großen Anreiz geben, fossilen Kohlenstoff als grünen Kohlenstoff umzudeklarieren, da Verfügbarkeit und Preis sich sehr unterscheiden werden. Eine Deklaration der Zusammensetzung von Kohlenstoffimporten auf EU-Ebene ist dafür eine zwingende Voraussetzung. Ein Zertifizierungs- und Nachweisregime ist heute bis auf wenige Ausnahmen (z. B. Biotreibstoffe) noch nicht vorhanden.

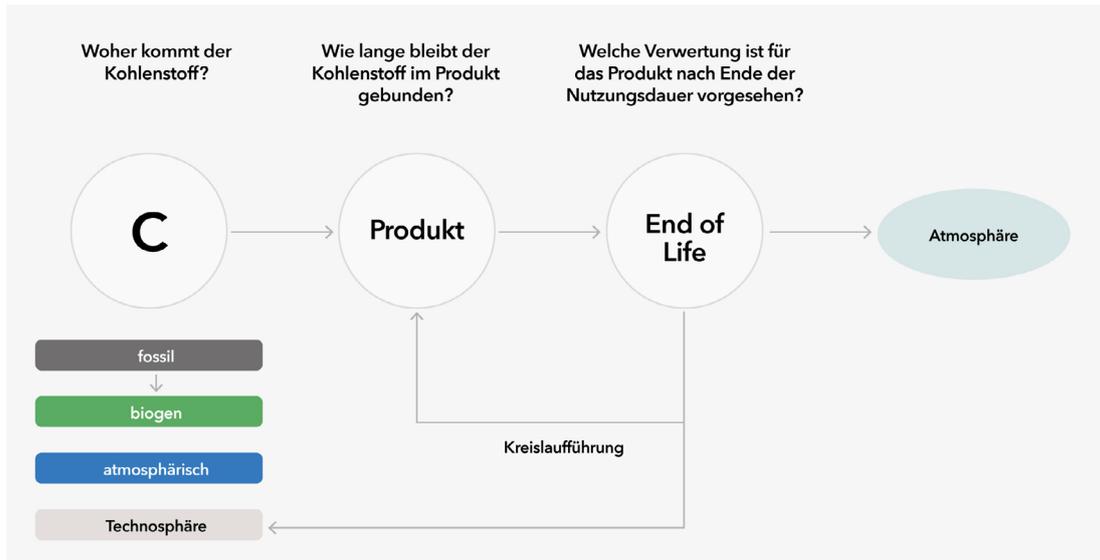


Abb. 3.6: Einfache Struktur zur Prüfung der Klimaneutralität des produktgebundenen Kohlenstoffes

3.6 Potentielle Marktakteure bei der Erzeugung von negativen Emissionen (CDR)

Es ist aus heutiger Sicht absehbar, dass eine Erreichung der Klimaneutralitätsziele bis 2045 eine Nachfrage nach Zertifikaten für negative Emissionen auslösen wird. Aus heutiger Sicht ist es allerdings noch unklar, aus welchen der vorstellbaren Optionen diese negativen Emissionen generiert werden. Sicher ist allerdings, dass der Europäische Emissionshandel durch entsprechende Regelwerke und Rahmenbedingungen ergänzt wird (Council of the European Union, 2024). Wenn man davon ausgeht, dass in Zukunft unvermeidbare technische Emissionen auch durch technisches CDR kompensiert werden, eröffnen sich hier Wertschöpfungsmöglichkeiten für unterschiedliche Branchen.

Wer könnte negative Emissionszertifikate nachfragen?

Nachfrager für negative Emissionszertifikate werden Akteure sein, die in geringem oder größerem Maße weiter treibhausgaswirksame Gase emittieren. Die Gründe dafür können unterschiedlich sein. So müsste bei der Nutzung von fossilem Methan trotz eventuell angeschlossener CCS-Anlage der Methanschluß während des Transportes kompensiert werden. Zusätzlich kann es auch 2045 in Industrieanlagen weiter dezentral emittiertes CO₂ oder andere klimawirksame Gase geben, die aufgrund des dezentralen Anfalls und der geringen Mengen nicht aufgefangen werden können oder deren Auffangen mit sehr hohen Kosten verbunden wäre. Auch ist vorstellbar, dass bestimmte Anwendungsfälle z. B. für fossile Kraftstoffe bei der Bundeswehr nur schwer zu ersetzen sind, hier wäre die Kompensation durch CDR-Zertifikate ebenfalls eine Option. Darüber hinaus könnte auch in einem Übergangszeitraum bis 2045 in Einzelfällen eine Kompensation von Emissionen kostengünstiger sein als die Änderung komplexer Industrieprozesse. Solche Nachfragen treffen allerdings auf einen sich erst entwickelnden Markt für CDR-Zertifikate, der langfristig von hohen Preisen und/oder Kohlenstoffkonkurrenzen z. B. bei der Biomasse geprägt ist.

Wer könnte negative Emissionszertifikate anbieten?

Option 1: Anbietersysteme

Anbieter wären aus heutiger Sicht in vielen Fällen komplexe, durch Infrastruktur dominierte Anbietersysteme, von denen nur ein Teil der Akteure in Deutschland ansässig ist. Zumindest die heutigen Speicheroptionen in geologischen Schichten liegen überwiegend weit außerhalb von Deutschland. Beispiele dafür sind:

- Müllverbrennungsanlagen mit Anschluss an das CO₂-Netz, Abscheidungsanlage und Zugriff auf biogenen Hausmüll oder andere Biogene Reststoffe
- Kalk- und Zementwerke mit Anschluss an das CO₂-Netz, Abscheidungsanlage und Zugriff auf biogene Zufeuerung

Diese Optionen setzen einen Anschluss an das zukünftige CO₂-Fernnetz, dahinterliegende Speicheroptionen und den langfristigen Zugriff auf biogene Reststoffe voraus. Gerade thermische Abfallbehandlungsanlagen mit kommunaler Verankerung könnten da langfristig einen Vorteil hinsichtlich der Biomasseverfügbarkeit haben.

Weitere mögliche Anbieter sind Produzenten langlebiger C-haltiger Produkte. Bei der Verwendung von biobasierten Kunststoffen in Gebäuden oder der Einbringung von Biokohle in landwirtschaftliche Flächen ist aus heutiger Sicht eine langfristige Speicherung des Kohlenstoffes vorstellbar. Wie lange der Kohlenstoff gebunden sein muss, um negative Emissionszertifikate zu generieren, ist allerdings derzeit politisch noch nicht entschieden, für den ETS werden gerade Zeiträume von mehreren Jahrhunderten diskutiert. Zusätzlich ist auch noch offen, wer von den Zertifikaten profitieren kann. Im Falle von biobasierten Kunststoffen könnte das der Produzent der Produkte sein, aber auch das Bauunternehmen oder der Bauherr.

Option 2: Technologie- und Logistikanbieter

Die verschiedenen technischen Optionen für die Kohlenstoffnutzung bieten für den Anlagenbau interessante Zukunftsoptionen. Für die Bereitstellung von klimaneutralem Kohlenstoff wird aus heutiger Sicht global Direct Air Capture eine wichtige Rolle spielen, auch wenn die Anwendungsmöglichkeiten in Deutschland begrenzt sind. Sowohl die Herstellung von DAC-Anlagen wie auch einzelner Komponenten (Flüssigkeitsverteilungssysteme, Pumpen, Tropfenabscheider, Ventilator oder Wärmetauscher) bieten Wertschöpfungspotentiale und Ansatzpunkte für bestehende Firmen zur Anwendung ihres technologischen Wissens (IN4climate.RR, 2022). Auch die Sammlung und Aufbereitung biogener Reststoffe wird für die Mobilisierung von Kohlenstoffquellen wichtiger werden, da Branchen wie die Chemieindustrie langfristig zentral auf diese Stoffe angewiesen sein werden. Dazu gehören auch Technologien zur Umwandlung von CO₂ in Chemiegrundstoffe (CCU). Die Kohlenstoffroute von DAC zu kohlenstoffhaltigen Produkten bedarf dieses Umwandschrittes, für eine Übergangszeit bis 2045 ist das auch für CO₂ aus fossilen Quellen vorstellbar.

Die Technologie für die Abscheidung und den Transport von CO₂ wird schon deutlich schneller eine Rolle für die Wertschöpfung spielen als DAC, da der Aufbau des CO₂-Netzes in Deutschland gerade mit großen Schritten vorangetrieben wird (BMWK, 2024e). Hier ist schon heute sichtbar, dass bestehende Anlagenbauer und Netzbetreiber dieses Geschäftsfeld aktiv angehen.

Option 3: Dienstleistung und Forschung

Die Entwicklung von negativen Zertifikaten bedarf neben den technischen Aspekten auch eines Ökosystems von Dienstleistungen und Forschung, das möglicherweise durch bereits vorhandene Akteure bedient werden kann.

Die Finanz- und Versicherungswirtschaft wird sich mit Investitionen und den damit verbundenen Risiken von CDR-Projekten beschäftigen und entsprechende Produkte anbieten. Zertifizierer und Zertifikatshändler werden gebraucht, um den Markt verlässlich und sicher zu machen und den notwendigen Handel zu betreiben. Universitäten und außeruniversitäre Forschungsinstitute werden sich mit technischen und gesellschaftlichen Fragestellungen dieses Marktes befassen. Nicht zuletzt ist auch Qualifizierung und Weiterbildung von Personal in den beteiligten Unternehmen ein notwendiges und auch profitables Betätigungsfeld.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass es mittel- bis langfristig neue Wertschöpfungspotentiale im Bereich CDR in verschiedenen Branchen in Deutschland und Europa geben wird. Es ist sinnvoll sich heute schon damit zu beschäftigen und die Weichen so zu stellen, dass diese Potentiale auch aus Deutschland heraus bedient werden.

3.7 Literatur

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2024a): *Eckpunkte der Bundesregierung für eine Carbon Management-Strategie*. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/eckpunkte-der-bundesregierung-fuer-eine-carbon-management-strategie.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (abgerufen am 07.11.2024)

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2024e): *Gesetzentwurf der Bundesregierung Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes*. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/entwurf-eines-gesetzes-zur-aenderung-des-kohlendioxid-speicherungs-gesetzes.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (abgerufen am 13.11.2024)

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2024c): *Langfriststrategie Negativemissionen zum Umgang mit unvermeidbaren Restemissionen (LNe) - Eckpunkte* -. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/240226-eckpunkte-negativemissionen.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (abgerufen am 07.11.2024)

Council of the European Union. (2024). *Draft of the COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) of 30.07.2024 supplementing Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council as regards the requirements of considering that greenhouse gases have become permanently chemically bound in a product* (C(2024) 5294). <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-12681-2024-INIT/en/pdf>

Europäische Kommission. (2024). *Auf dem Weg zu einem ehrgeizigen industriellen CO₂-Management in der EU* (COM(2024) 62). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=COM%3A2024%3A62%3AFIN>

Haff, P. K. (2014). *Technology as a geological phenomenon: Implications for human well-being*. Geological Society, London, Special Publications, 395(1), 301–309. <https://doi.org/10.1144/SP395.4>

IEA. (2022). *Direct Air Capture 2022 – a key technology for net zero*. IEA - International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/direct-air-capture-2022>

IN4climate.RR. (2022). *Technologiekompetenzanalyse Direct Air Capture*. Wuppertal. https://www.rheinisches-revier.nrw/fileadmin/user_upload/2022_Direct_Air_Capture_cr-in4climateRR.pdf

IPCC. (2021). *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, K. Huang, E. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekci, R. Yu, & B. Zhou (eds.)]. In Press.

IPCC. (2022). Annex II: *Glossary*. [Möller, V., R. van Diemen, J.B.R. Matthews, C. Méndez, S. Semenov, J.S. Fuglestedt, A. Reisinger (eds.)] In: *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lössche, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
Kaufmann, L., Wiedenhofer, D., Cao, Z., Theurl, M. C., Lauk, C., Baumgart, A., Gingrich, S., & Haberl, H. (2024).

Society's material stocks as carbon pool: An economy-wide quantification of global carbon stocks from 1900–2015. Environmental Research Letters, 19(2), 024051. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad236b>

MWIDE. (2021). *Kohlenstoff kann Klimaschutz: Carbon Management Strategie Nordrhein-Westfalen*. Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen. https://www.wirtschaft.nrw/sites/default/files/documents/mwide_carbon_management_strategie_barrierefrei.pdf

Pfeiffer, J., Erlach, B., Fishedick, M., Fuss, S., Geden, O., Löschel, A., Pittel, K., Ragwitz, M., Stephanos, C., & Weidlich, A. (2024). *Kohlenstoffmanagement integriert denken: Anforderungen an eine Gesamtstrategie aus CCS, CCU und CDR (Impuls)* (Schriftenreihe „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS)). https://doi.org/10.48669/esys_2024-5

SCI4climate.NRW. (2021a). *CO₂-Entstehung der Industrie in einem klimaneutralen NRW - Impuls für eine Infrastrukturgestaltung*. https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/Ergebnisse_SCI4climate.NRW/Szenarien/2020/co2-entstehung-der-industrie-in-einem-klimaneutralen-nrw-impuls-fu__r-eine-infrastrukturgestaltung-cr-sci4climatenrw.pdf

SCI4climate.NRW. (2023b). *Treibhausgasneutralität in Deutschland bis 2045 - Ein Szenario aus dem Projekt SCI4climate.NRW*. Wuppertal Institut & Institut der deutschen Wirtschaft. https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/Ergebnisse_SCI4climate.NRW/Szenarien/2023/treibhausgasneutralitaet-in-deutschland-bis-2045-szenario-cr-sci4climate.nrw.pdf

Zeiss, C. (2025c). *Zentrale Aspekte einer aktorsbasierten Diskussion und Umsetzung einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft*

TEILBERICHT IV



Akzeptanzfragen der Kohlenstoffwirtschaft

4.1 Einführung: Gesellschaftliche Akzeptanzfragen

Für den Industriesektor als zweitgrößten Emittent in Deutschland sind die Emissionsreduktionen besonders kritisch. Eine Reduzierung der Industrieemissionen ist unerlässlich. Ein notwendiger Ansatz hierfür ist die industrielle Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (Carbon Capture and Storage (CCS)). Bei industriellem CCS werden CO₂-Mengen aus industriellen Prozessen abgeschieden und anschließend in geeigneten geologischen Formationen langfristig gespeichert. In Deutschland wurde industrielles CCS in den vergangenen Jahren insbesondere für nicht vermeidbare CO₂-Mengen aus energieintensiven Industrien in Betracht gezogen. Industrien, deren Prozesse direkt mit der Entstehung von CO₂ verbunden sind, sind auf den Einsatz von CCS-Technologien angewiesen, um weiterhin produzieren zu können. Nur so ist es ihnen möglich, klimaneutral zu arbeiten und die gesetzlich vorgeschriebenen Emissionsminderungsziele zu erreichen. Aktuelle Klimaneutralitätsszenarien sehen übergreifend den Einsatz von CCS zur Erreichung der Klimaschutzziele als notwendig an. Das Projekt SCI4climate.NRW hat beispielsweise aktuelle Klimaschutzszenarien für Deutschland verglichen. In allen Szenarien wird CCS als entscheidender Baustein für den Übergang zu einer klimaneutralen Industrie hervorgehoben (SCI4climate.NRW, 2023b).

Neben positiven Effekten auf Klima und Umwelt bringt die Transformation der Industrie jedoch erhebliche Herausforderungen für die regionale Entwicklung mit sich, die weitreichende sozioökonomische Auswirkungen haben können (Sovacool et al., 2023), das gilt insbesondere für die Entwicklung im Mitteldeutschen Revier. Solch eine Transformation ist mit strukturellem Wandel, erheblichen Unsicherheiten und der Einführung neuer Technologien und Infrastrukturen verbunden. Entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung dieser Veränderungen ist dabei die Unterstützung der Öffentlichkeit. Zahlreiche Studien unterstreichen die Bedeutung des öffentlichen Bewusstseins und der gesellschaftlichen Akzeptanz als kritische Elemente für die Einführung emissionsreduzierender Technologien (Bäckstrand et al., 2011; Scovell, 2022; Van Alphen et al., 2007).

CCS ist seit über einem Jahrzehnt Thema in nationalen und internationalen politischen Diskussionen. Auf europäischer Ebene regelt die CCS-Richtlinie seit 2009 die geologische Speicherung von CO₂. In Deutschland wurde in den Jahren 2009 und 2010 von der CDU/CSU- und SPD-Regierung ein Gesetzentwurf zur Umsetzung der EU-Richtlinie vorgelegt (Duetschke, 2011). Der Schwerpunkt lag hierbei auf dem Einsatz von CCS in Kohlekraftwerken, was insbesondere seitens Umweltschutzorganisationen eine Welle öffentlicher Diskussionen und erheblichen Widerstandes auslöste. Umweltschutzorganisationen setzten sich anstelle von CCS für alternative Transformationspfade wie erneuerbare Energien ein. Sie befürchteten insbesondere, CCS könne das fossile Zeitalter verlängern und die Bemühungen um erneuerbare Energien schwächen.

In Folge der intensiven Proteste wurde das Kohlendioxid-speicherungsgesetz (KSpG) in stark eingeschränkter Form im Juni 2012 verabschiedet (Karohs, 2013). Das 2012 erlassene KSpG in Deutschland erlaubte Demonstrationsprojekte zur CO₂-Speicherung, allerdings nur unter strengen Auflagen für die Standortgenehmigung, Überwachung, Haftung und öffentliche Beteiligung. Dabei wurde die jährliche Speichermenge auf 1,3 Millionen Tonnen CO₂ begrenzt.

Die kommerzielle Anwendung von CCS im Energiesektor in Deutschland konnte sich in der Vergangenheit nicht durchsetzen. Grund dafür waren der breite Widerstand aus der Bevölkerung und der organisierten Zivilgesellschaft sowie ein allgemeiner Mangel an gesellschaftlicher Akzeptanz.

4.2 Studienauftrag für den Teilbericht IV

Aufgrund der Zieldimension Klimaneutralität können wir bereits heute bestimmte Bereiche identifizieren, in denen die Industrietransformation zu erheblichen Veränderungen führen wird. Aus heutiger Sicht trifft dies im Bereich der Kohlenstoffwirtschaft insbesondere auf den Aufbau neuer Infrastrukturen für den Transport von unvermeidbaren Mengen industriellen CO₂ zu. Dabei ist zu unterscheiden, welche grundsätzlichen Einstellungen Menschen zu diesen Infrastrukturentwicklungen im Kontext der Transformation zur Klimaneutralität haben und welche Einstellungen sie zu konkreten Infrastrukturprojekten vor ihrer Haustür haben. In diesem Teilbericht werden zentrale Erkenntnisse aus aktuellen Forschungsarbeiten des Wuppertal Instituts zusammengestellt und Übertragungsaspekte ins Mitteldeutsche Revier diskutiert. Dabei werden die Ergebnisse des Projektes Protanz.NRW zu der Fragestellung: Welche Faktoren beeinflussen maßgeblich die gesellschaftliche Akzeptanz von Infrastrukturprojekten für CO₂-Einsparungen im großindustriellen Bereich? und die Ergebnisse des Projektes PartinKN zur Untersuchung von Partizipationsnotwendigkeiten im Rahmen des Leitungsbaus im Rheinischen Revier genutzt.

4.3 Methodik und Systemgrenzen

Aufgrund der Zieldimension Klimaneutralität sind schon heute bestimmte Bereiche sichtbar, in denen es zu großen Änderungen durch die Industrietransformation kommen wird. Das betrifft im Bereich der Kohlenstoffwirtschaft insbesondere den Aufbau neuer Infrastrukturen für den Transport von unvermeidbaren Mengen industriellen CO₂. Dabei ist zu unterscheiden, welche Einstellung Menschen zu diesen Infrastrukturentwicklungen im Kontext der Transformation zur Klimaneutralität haben und welche Einstellung sie zu konkreten Infrastrukturprojekten vor Ihrer Haustür haben. In diesem Teilbericht werden zentrale Erkenntnisse aus aktuellen Forschungsarbeiten des Wuppertal Instituts zusammengestellt und deren Übertragbarkeit auf das Mitteldeutschen Reviers diskutiert. Ziel ist eine Behandlung der Frage: Welche Faktoren beeinflussen maßgeblich die gesellschaftliche Akzeptanz von Infrastrukturprojekten für CO₂-Einsparungen im großindustriellen Bereich?

Zur Einordnung von Akzeptanzfragen der Kohlenstoffwirtschaft wurde auf aktuelle Arbeiten des Wuppertal Instituts zurückgegriffen. Die Methodik und die Ergebnisse sind in den Kapiteln 3 und 4 beschrieben. Protanz.NRW basiert auf quantitativen Befragungen von Einzelpersonen und Einzel- und Gruppeninterviews mit Vertreter*innen von Institutionen im Raum von Nordrhein-Westfalen im Jahr 2022. PartinKN basiert auf Einzelinterviews mit Vertreter*innen der organisierten Zivilgesellschaft im Rheinischen Revier Ende 2023 bis Mitte 2024. Der Teilbericht wurde im Zeitraum zwischen Mai 2024 und Februar 2025 erstellt.

4.4 Gesellschaftliche Akzeptanz von Carbon Capture and Storage (CCS) – Das Projekt ProtanzNRW

Die gesellschaftlichen und politischen Entwicklungen im Hinblick auf CCS in Deutschland bildeten den Ausgangspunkt für langjährige Forschungen des Wuppertal Instituts zum Thema Akzeptanz

von CCS. Ein in diesem Kontext zentrales Forschungsprojekt war Protanz.NRW. Das Projekt Protanz.NRW war am Virtuellen Institut (VI) „Transformation – Energiewende NRW“ angesiedelt und wurde gefördert durch das Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie (MWIKE) des Landes NRW. Beteiligt waren die Bergische Universität Wuppertal, die Hochschule Bochum, die Ruhr-Universität Bochum, die RWTH Aachen und das Wuppertal Institut. Im Projekt untersuchten die Forschenden des Wuppertal Instituts, inwiefern die industrielle Nutzung von CCS in NRW auf gesellschaftliche Akzeptanz stößt. Dafür hat das Wuppertal Institut zwei Akzeptanzstudien durchgeführt.

Studiendesign

Die erste der beiden Studien war eine quantitative Studie, in der Ende 2022 1.845 Personen in NRW, quotiert nach Alter, Geschlecht und Bildung, online befragt wurden. Die Personen wurden eingangs befragt zu

- ihrer Einstellung zum Klimawandel,
- ihrer Einstellung zur Industrie,
- ihrer Einstellung zum CO₂-Ausstoß der Industrie,
- ihrem Wissen und ihrer Einstellung rund um die Diskussion um die finanzielle Förderung der Dekarbonisierung der Industrie sowie
- ihrem Wissen zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung.

Anschließend wurde den Teilnehmenden industrielles CCS kurz erläutert. Den Befragten wurden Argumente für und gegen CCS aufgezeigt, die sie in ihrer Wichtigkeit bewerten sollten. Die Teilnehmenden wurden weiterhin befragt zu

- ihrer Akzeptanz für industrielles CCS in NRW,
- ihrem Vertrauen in verschiedene Organisationen im Umgang mit CCS,
- ihrer Einstellung zum Transport von CO₂ und den damit verbundenen Risiken sowie
- ihrer Einstellung zur Speicherung von CO₂ und damit verbundenen Risiken.

In der qualitativen Studie führte das Wuppertal Institut 28 Einzel- und Gruppeninterviews mit relevanten Stakeholdern der Debatte um industrielles CCS durch. Es wurden Interviews mit Industrieexpert*innen aus Industrieunternehmen (CCS-Infrastrukturprovider sowie CCS-Nutzer) (n=8), Industrieverbänden (n=8) und Gewerkschaften (n=4) relevanter Branchen sowie mit Umweltschutzorganisationen (n=8) geführt. Die Interviews wurden anhand eines strukturierten Leitfadens geführt, der den Interviewpartner*innen vor dem Interviewtermin zur Verfügung gestellt wurde.

Die Interviewpartner*innen wurden befragt zu:

- ihrer Sicht auf die Industrietransformation und ihre Einschätzung zur Rolle von industriellem CCS,
- den von ihnen erwarteten infrastrukturellen, ökologischen, ökonomischen, und sozialen Effekten von industriellem CCS in NRW,
- ihren Erfahrungen mit ähnlichen Technologiepfaden,
- ihren Erwartungen an die Umsetzung von industriellem CCS in NRW sowie erwarteten Akteursrollen und -verantwortlichkeiten,
- ihrer Einschätzung zum Ergebnis der Vertrauensfrage der quantitativen Befragung sowie
- akteursspezifischen Themen.

Studienergebnisse

Aus den beiden Studien entstanden zwei Veröffentlichungen:

Ein Peer-Reviewed-Paper mit Fokus auf die quantitative Analyse (Große-Kreul et al., 2024):

Understanding public acceptance amidst controversy and ignorance: The case of industrial Carbon Capture and Storage in Germany

Felix Große-Kreul, Laura Altstadt, Aileen Reichmann, Nora Weber, Katja Witte

In: Energy Research & Social Science (2024)

Des Weiteren veröffentlichte das Wuppertal Institut einen Policy Brief, in dem die zentralen Ergebnisse der quantitativen und qualitativen Studie dargelegt und Handlungsempfehlungen für Politik und Industrie abgeleitet wurden:

Akzeptanz von industriellem CCS in Nordrhein-Westfalen – Empfehlungen für Politik und Industrie

Katja Witte, Felix Große-Kreul, Aileen Reichmann, Nora Weber, Laura Altstadt (2023)

Die nachfolgenden Kapitel basieren auf den Inhalten dieser Veröffentlichungen sowie auf unveröffentlichten Ergebnissen des Forschungsprojektes.

Quantitative Studie

Aus der quantitativen Studie konnte abgeleitet werden, dass den meisten Menschen in NRW industrielles CCS unbekannt ist: 63 Prozent aller Befragten geben an, nichts über iCCS zu wissen. Während sich diese Daten auf Nordrhein-Westfalen beziehen, lassen sich daraus Rückschlüsse auf das Mitteldeutsche Revier ziehen. Es ist wahrscheinlich, dass das Wissen über industrielles CCS im Mitteldeutschen Revier ähnlich begrenzt ist wie in Nordrhein-Westfalen, was den Bedarf an umfassender Aufklärung und Informationsarbeit deutlich macht.

59,2 Prozent der bereits informierten Befragten gaben an, der industriellen Nutzung von CCS in NRW gegenüber positiv eingestellt zu sein. Lediglich 11,5 Prozent der Befragten gaben eine ablehnende Haltung an. 29,3 Prozent der Befragten gaben an neutral eingestellt zu sein, nicht zu wissen wie sie zu der Fragestellung stehen oder keine Meinung zu haben. Abbildung 4.1 zeigt die Akzeptanz der informierten Öffentlichkeit im Hinblick auf die Nutzung von industriellem CCS in NRW.

Inwieweit würden Sie es als positiv oder negativ empfinden, wenn CO₂-Abscheidung und -Speicherung von der Industrie in NRW genutzt würde?

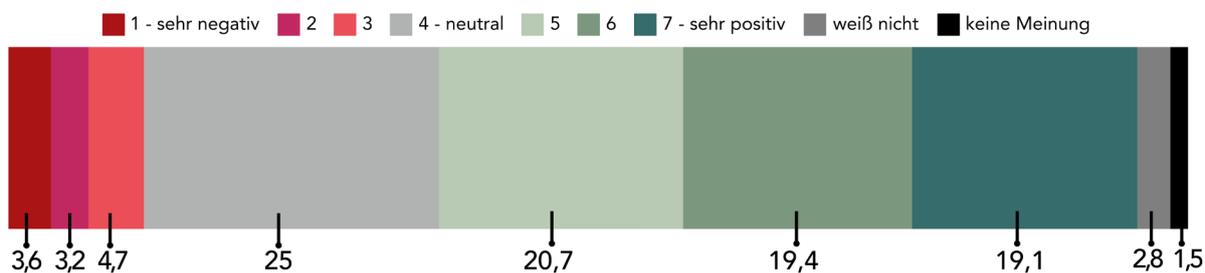


Abb. 4.1: Akzeptanz der informierten Öffentlichkeit von industriellen CCS in NRW⁸⁹ (nach Witte et al., 2023)

Die Studie macht hingegen ebenfalls deutlich, dass in der Bevölkerung eine ausgeprägte Risikowahrnehmung hinsichtlich des Transportes von CO₂ besteht. Die Teilnehmenden wurden zu ihrer Risikowahrnehmung für den Transport via LKW, Schiff und Pipeline befragt. Der Transport via LKW wurden dabei von den Befragten am risikoreichsten und der Transport via Pipeline vergleichsweise am risikoärmsten eingeschätzt.

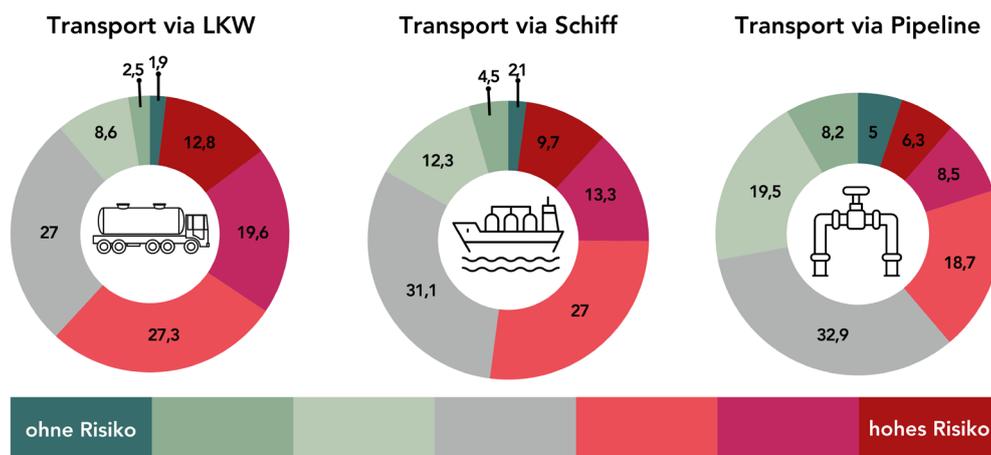


Abb. 4.2: Gefahrenwahrnehmung von CO₂-Transporten in der informierten Öffentlichkeit⁹⁰ (nach Witte et al., 2023)

Die Befragung nach dem Vertrauen in verschiedene Organisationen im Umgang mit industriellem CCS ist nachfolgend in Abbildung 4.3 aufgeschlüsselt. Die Befragung macht deutlich, dass das Vertrauen in Industrieunternehmen, die hauptsächlich für die Umsetzung von industriellem CCS verantwortlich sein werden, vergleichsweise gering ist. Am größten ist das Vertrauen in Wissenschaftler*innen und Umweltschutzorganisationen sowie Verbraucherverbände.

89 Die Befragten erhielten vorab folgende Information über die Industrien, auf die sich die Frage bezieht: „Für Industrieunternehmen, die z. B. Stahl, chemische Produkte oder Zement herstellen, gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, den Ausstoß von CO₂ in die Luft zu vermeiden. Eine Möglichkeit ist es, durch CO₂-Abscheidung und -Speicherung das CO₂ aus Industrieprozessen aufzufangen und es in unterirdischen Lagerstätten zu speichern.“

90 Die aufgeführten Antworten setzen sich als Mittelwerte aus vier Fragen zusammen und wurden jeweils für die unterschiedlichen Transportwege abgefragt.

Vertrauen darin, richtige Entscheidungen zum Umgang mit industrieller CO₂-Abscheidung und -Speicherung zu treffen oder zu befürworten.

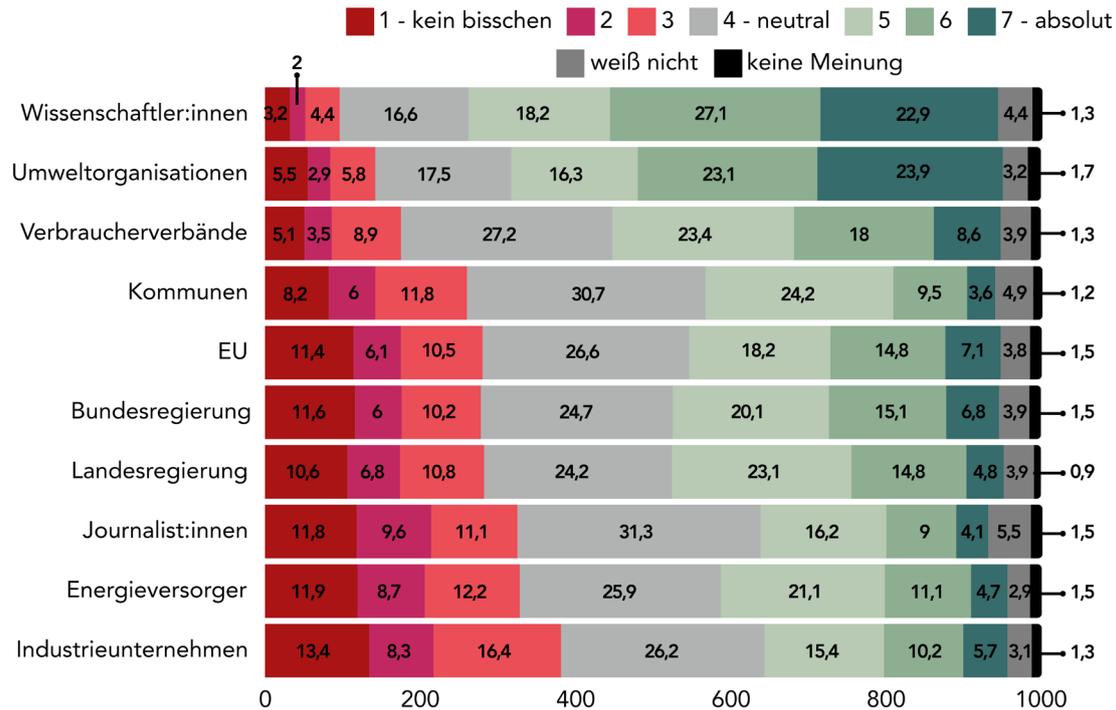


Abb. 4.3: Vertrauen der informierten Öffentlichkeit in unterschiedliche Akteur*innen (Witte et al., 2023)

Qualitative Studie

Die Einstellung der befragten Industrieexpert*innen zu iCCS waren divers und spiegelten nuancierte Standpunkte und Überlegungen wider. Während Gewerkschaftsvertreter*innen industrielles CCS als Weg zur Klimaneutralität in Sektoren mit unvermeidbaren Prozessemissionen befürworteten, warnen sie vor der Gefahr, das fossile Zeitalter aufrecht zu erhalten. Industrievertreter*innen hingegen betonten die Unverzichtbarkeit von industriellem CCS zur Erreichung der Klimaziele, insbesondere in Sektoren mit schwer vermeidbaren Prozessemissionen. Die Industrieverbände betonten in diesem Zusammenhang die zentrale Rolle von industriellem CCS in Sektoren wie der Kalk- oder Zementproduktion.

Die befragten Umweltverbände vertraten eine heterogene Haltung zu iCCS. Während einige die Notwendigkeit von industriellem CCS aufgrund der Klimakrise anerkannten, äußerten andere Bedenken hinsichtlich der Gefahr durch (industrielles) CCS, nicht-nachhaltige Wirtschaftspraktiken weiterhin zu unterstützen und ein Umdenken bei den Konsumstrukturen zu verhindern. Trotz einer tendenziell aufgeschlossenen Haltung gegenüber industriellem CCS betonten Umweltorganisationen häufiger als andere Interessengruppen, dass die Kohlenstoffabscheidung als eine streng begrenzte und sekundäre Lösung zur Emissionsminderung betrachtet werden sollte. Diese unterschiedlichen Sichtweisen unterstreichen die Vielschichtigkeit der Akzeptanz von industriellem CCS und verdeutlichen, wie wichtig ein fundierter Dialog und politische Rahmenbedingungen für die Umsetzung sind. Tabelle 4.1 zeigt die aus den Interviews abgeleiteten zentralen Herausforderungen einer Realisation von industriellem CCS in NRW, die so mit großer Wahrscheinlichkeit auf das Mitteldeutsche Revier übertragen werden können.

Akzeptanzfelder	Zentrale Herausforderungen
Ökonomische Aspekte	I finanzielle Hürden wie die Notwendigkeit hoher Investitionen und die Herausforderung, im internationalen Wettbewerb zu bestehen
	II Neue Management-Herausforderungen
Ökologische Aspekte	III Umweltauswirkungen der Infrastrukturen
Soziale Aspekte	IV Einfluss der vergangenen CCS-Debatte V Mangel an Wissen in der Gesellschaft über (industrielles) CCS
Technologische und infrastrukturelle Aspekte	VI Anbindung der potentiellen Nutzer an die Pipelines VII Vielzahl neuer Infrastrukturen erforderlich VIII persönliche Betroffenheit durch Infrastruktur (NIMBY)

Tabelle 4.1: Zentrale Herausforderungen von industriellem CCS in NRW

Wirtschaftliche Aspekte von industriellem CCS

Hinsichtlich der wirtschaftlichen Auswirkungen legten die befragten Industrieexpert*innen besonderes Gewicht auf die Themen Standorterhalt durch industrielles CCS sowie finanzielle Aspekte, wobei sie die hohen Kosten, Investitionsbedarfe und die Sorge, auf dem internationalen Markt nicht wettbewerbsfähig zu sein, ansprachen. Darüber hinaus wurden neue Managementherausforderungen angesprochen. Diese Argumente gelten deutschlandweit und haben ökonomische Relevanz für das Mitteldeutsche Revier.

Die befragten Expert*innen betonten, dass der Einsatz von industriellem CCS in Deutschland zum Standorterhalt der Industrie beitrage und sich auf alle nachgelagerten Wertschöpfungsstufen positiv auswirke, woraus sie eine Notwendigkeit für die Umsetzung von CCS in Deutschland ableiteten. Diese Aussage basiert auf dem Argument, dass bestimmte Industrien gezwungen wären, ihre Produktion ins Ausland zu verlagern, wenn industrielles CCS in Deutschland keine Option wäre. Andernfalls könnten sie die Umweltstandards des Bundes und der EU nicht einhalten (Carbon Leakage). Darüber hinaus sei für Industrien wie die Kalkindustrie, die aufgrund der Nähe zu den geologischen Kalkvorkommen ortgebunden sind, eine Verlagerung ins Ausland nicht ohne weiteres möglich; diese seien daher insbesondere auf CCS angewiesen. Der Erhalt des Industriestandorts in Deutschland würde der lokalen Wirtschaft zugutekommen und sich positiv auf Wohlstand und Beschäftigung auswirken, da sowohl Arbeitsplätze erhalten als auch geschaffen würden.

Die Expert*innen äußerten die Erwartung, dass die notwendigen Investitionen in CCS-Anlagen hoch und langwierig sein würden. Ihnen war jedoch noch unklar, wie hoch genau die Kosten sein würden, welche Subventionen zu erwarten wären und ob die Technologien für die Unternehmen finanziell tragfähig wären. Die Expert*innen betonten, dass Unternehmen, die investieren, auch langfristig von diesen Investitionen profitieren müssten. Die Herstellung der Rentabilität für die nächsten Jahrzehnte wurde als notwendig erachtet, aber zudem als eine Herausforderung herausgestellt, abhängig vom Subventionsumfeld und davon, wie schnell grüne Leitmärkte entstünden oder welche Preise sich im Emissionshandel bildeten (die CO₂-Preise müssten steigen, um die Rentabilität von CCS zu ermöglichen).

Im Zusammenhang mit den steigenden Kosten und hohen Investitionen diskutierten die Experten einen möglichen Wettbewerbsnachteil durch die grüne Produktion. Es wurde betont, dass Investitionen in die Technologie nicht zu Wettbewerbsnachteilen gegenüber Unternehmen aus Regionen mit

niedrigeren Umweltstandards, wie zum Beispiel Asien oder den USA, führen dürften. Im Gegensatz zum Risiko mangelnder Wettbewerbsfähigkeit sahen einige wenige Expert*innen die Chance auf Marktanteile der First Mover bei bestehender Nachfrage. Diese Chance könnten bspw. Unternehmen aus der Chemieindustrie im Mitteldeutschen Revier ergreifen.

Als ein Nebenaspekt wurden auch neue Managementherausforderungen thematisiert. Dazu zählen unter anderem die Notwendigkeit, Wissen über iCCS aufzubauen, mögliche Veränderungen der Produktqualität sowie der Bedarf an neuen strategischen Allianzen.

Ökologische Aspekte von industriellem CCS

In den Befragungen zeigte sich, dass die Mehrheit der Stakeholder nur begrenzte Kenntnisse über die Wechselwirkungen zwischen Natur sowie Umwelt und industriellem CCS hatten. Dennoch kristallisierten sich zwei zentrale Arten von erwarteten Effekten heraus: positive ökologische Beiträge zum Klimaschutz und negative ökologische Auswirkungen aufgrund von Eingriffen durch Infrastrukturen und Lagerstätten. Negative Auswirkungen wurden jedoch eher gering und kurzfristig erwartet.

Generell wurden die Auswirkungen von industriellem CCS auf das Klima von den meisten Befragten (wenn auch nicht von allen) positiv bewertet, da durch die Technologie weniger CO₂ in die Atmosphäre gelangt. Umweltorganisationen betonten jedoch, wie wichtig es sei, Umweltschutz und Klimaschutz in Einklang zu bringen. Expert*innen räumten die Möglichkeit ökologischer Störungen aufgrund der benötigten Infrastrukturen ein. Dennoch vertraten die meisten Befragten die Ansicht, dass der Bau von Pipelines zwar mit anfänglichen Eingriffen in den Boden verbunden sei, die ökologischen Auswirkungen insgesamt jedoch minimal seien, insbesondere wenn bereits bestehende Pipelinekorridore genutzt würden. Sie vertraten die Ansicht, dass Pipelines im Vergleich zu alternativen Transportmethoden wie dem Schienenverkehr von Natur aus weniger umweltschädlich seien. Vertreter*innen aus Umweltschutzorganisationen äußerten sich tendenziell kritischer als andere Befragte zu den ökologischen Auswirkungen von Pipelines und äußerten darüber hinaus Bedenken hinsichtlich des Meeresschutzes und der Notwendigkeit zur Vermeidung von Leckagen bei der Lagerung und dem Transport von CO₂. Negative Umweltauswirkungen durch den Pipelinebau sind ein Aspekt, den es im Mitteldeutschen Revier zu berücksichtigen und zu monitoren gilt.

Soziale Aspekte von industriellem CCS

Die befragten Expert*innen äußerten die Annahme, dass Akzeptanz die größte Herausforderung für industrielles CCS darstelle. Sie stellten fest, dass der Erfolg der Technologie stark von der politischen und gesellschaftlichen Akzeptanz abhinge. Die Industrieexpert*innen verwiesen häufig auf die vergangene CCS-Debatte in Deutschland. Obwohl sich der Kontext von CCS damals und industriellem CCS heute unterscheidet, zeigten sich die Akteure besorgt, dass die vergangene Debatte den aktuellen Diskurs beeinflussen könnte. In der damaligen Debatte wurde CCS weitestgehend als eine Strategie zur Aufrechterhaltung fossiler Strukturen und zur Verhinderung der Energiewende geframed. Die Akteur*innen befürchteten, dass die Verbindung zwischen CCS und dem Erhalt fossiler Strukturen erhalten bleibe und den Widerstand von Umweltverbänden hervorrufen würde. Die Befragten äußerten die Befürchtung, dass Akteure, die in der Vergangenheit ideologisch gegen CCS eingestellt waren, ihre Haltung auch in der aktuellen Debatte beibehalten würden. Für einen Blick in das Mitteldeutsche Revier ist es aus dieser Perspektive wichtig, relevante lokale Akteure im Blick zu behalten, die in der vergangenen Debatte aktiv waren, und frühzeitig den Dialog mit ihnen zu suchen.

Umgekehrt erwarteten einige Stimmen eine weniger emotionale CCS-Diskussion im Vergleich zur vorherigen Debatte. Sie führten dies auf den veränderten Kontext zurück, der sich vom Erhalt fossiler, brennstoffbasierter Geschäftsmodelle hin zur Reduktion von Prozessemissionen verschoben hat. Einige Befragte berichteten, dass sie eine steigende Akzeptanz der Technologie wahrnehmen. Dies stelle eine deutliche Veränderung im Vergleich zur Ablehnung vor einigen Jahren dar, als CCS in Deutschland noch als undenkbar galt. Einige Expert*innen bezweifelten jedoch, dass dieser Aufwärtstrend für eine flächendeckende Einführung von CCS in Deutschland ausreichend sei. Diese Spekulationen verdeutlichen die Ungewissheit darüber, inwieweit sich die zunehmende Akzeptanz in einer konkreten Unterstützung für CCS-Projekte niederschlagen wird.

Ebenfalls in den Interviews diskutiert wurde das fehlende Wissen der Öffentlichkeit über (industrielles) CCS und den daraus resultierenden Informationsbedarf. Die Expert*innen stellten fest, dass ein erheblicher Teil der Bevölkerung kein Wissen über industrielles CCS und seine Auswirkungen habe. Vertreter*innen der Gewerkschaften wiesen darauf hin, dass industrielles CCS für Beschäftigte bislang abstrakt bleibe und wenig bis gar nicht diskutiert werde. Nach Ansicht der Expert*innen sei die Beseitigung eines erheblichen Informationsdefizits notwendig, damit sich die Öffentlichkeit sinnvoll mit industriellem CCS auseinandersetzen könne. Die Diskussionsteilnehmer*innen benötigten ein gewisses Maß an Wissen, um einen informierten Diskurs zu ermöglichen. So waren sich beispielsweise mehrere Befragte nicht sicher, ob die allgemeine Bevölkerung den Unterschied zwischen CO und CO₂ verstehe, was die Sorge aufkommen ließ, dass der Widerstand gegen eine einst von Covestro vorgeschlagene CO-Pipeline in NRW die aktuelle Debatte um industrielles CCS negativ beeinflussen könnte. Die Frage nach Empowerment⁹¹ von Akteuren und Wissensvermittlung zu Themen der industriellen Transformation sind Themen, die auch im Mitteldeutschen Revier von hoher Relevanz sind und die frühzeitig und vorausschauend angegangen werden sollten.

Ein wichtiges Diskussionsthema, das sich aus den vorangegangenen Argumenten ergab, war die Bürgerbeteiligung. Die Expert*innen erklärten, dass die Stimmen aus der Zivilgesellschaft sorgfältig angehört werden müssten. Anstatt Bürgerbeteiligung zu reduzieren, sollte diese ausgebaut werden, um die öffentliche Akzeptanz zu fördern und Proteste möglichst zu vermeiden. Die Expert*innen erklärten, dass die Umgestaltung der Industrie einen erheblichen Kommunikationsbedarf mit sich bringen würde. Es müsse eine Diskussion über industrielles CCS angestoßen werden. Die Expert*innen waren der Meinung, dass die Erklärung der Technologie und ihrer Vorteile ein entscheidendes Moment für die Akzeptanz sein werde. Sie waren der Meinung, dass das Betonen der Klimavorteile von industriellem CCS die öffentliche Meinung zu ihren Gunsten beeinflussen könne. Die Akteur*innen betonten, dass im Vergleich zur bisherigen Debatte andere Kommunikationsstrategien erforderlich seien, insbesondere eine Abkehr von der Befürwortung des Erhalts fossiler Brennstoffe. So betonten sie die Notwendigkeit, die Verbindung zwischen Aspekten wie der Schaffung von Arbeitsplätzen und qualifizierter Beschäftigung und der Realisierung grüner Industrien und Produkte hervorzuheben. Diese Argumentation ist genauso für das Mitteldeutsche Revier und die dort ansässigen Industrien von Bedeutung. Letztendlich müsse der Zivilgesellschaft der Zweck, der hinter der Errichtung von industriellen CCS-Strukturen steht, klar gemacht werden. Die Expert*innen wiesen darüber hinaus auf die Notwendigkeit der Risiko- und Gefahrenkommunikation hin.

91 Empowerment meint die Vermittlung von Informationen an die organisierte Zivilgesellschaft oder Bürger*innen, um es diesen zu ermöglichen, informierte Entscheidungen zu treffen und sich im Partizipationsprozess auf Augenhöhe beteiligen zu können.

Technologien und Infrastruktur für industrielles CCS

Hinsichtlich der infrastrukturellen Auswirkungen von industriellem CCS konzentrierten sich die Gespräche in erster Linie auf die Transportinfrastruktur für CO₂. Die Interviews behandelten die Eigenschaften dieser Infrastrukturen, ihre Vor- und Nachteile, die einhergehenden Anforderungen sowie die Anbindung der Industrie. Darüber hinaus waren weitere Themen in den Interviews präsent, diese wurden allerdings weniger ausführlich diskutiert. Themen waren CCS-Speicherstätten, Abscheidungsanlagen und Infrastrukturen im Zusammenhang mit den hohen Energiebedarfen von industriellem CCS.

Bei der Diskussion über die Transportinfrastrukturen standen Pipelines im Zentrum. Es herrschte fast einhellig die Meinung, dass Pipelines der bevorzugte Transportweg für CO₂ seien. Nach Ansicht der Expert*innen seien Pipelines aufgrund ihrer Effizienz die sinnvollste Option für den Transport in großem Maßstab. Sie gelten als die wirtschaftlichste Variante und hätten nach dem Bau nur minimale Auswirkungen auf die biologische und soziale Umwelt. Nur wenige Expert*innen erwähnten die potenziellen Gefahren, die mit Pipelines und CO₂-Transporten verbunden seien.

Die meisten Expert*innen merkten an, dass für den CO₂-Transport eine völlig neue (Pipeline-)Infrastruktur benötigt werde. Zwar würden wahrscheinlich bestehende unterirdische Pipelinekorridore genutzt werden, doch einige Expert*innen rechneten dennoch mit größeren Bauprojekten. Da Pipelines erst gebaut werden müssen, halten die Experten ihre Nutzung in naher Zukunft für unwahrscheinlich.

Mit Ausnahme der Gewerkschaftsvertreter*innen sprachen alle Stakeholdergruppen die Frage nach Standortvor- und -nachteilen, Infrastrukturanbindungen und Clusterbildung an. Die Akteure bemerkten und einige kritisierten eine starke Ausrichtung der Infrastrukturen auf einflussreiche Industrieakteure. Sie erkannten ein Risiko für kleine Akteure, möglicherweise nicht an eine potentielle CO₂-Transportinfrastruktur angeschlossen zu werden. Der Aufbau von Infrastrukturen werde folglich zu Wettbewerbsvorteilen und -nachteilen führen. Diejenigen, die zuerst angeschlossen würden, könnten sich schneller transformieren. Nach Ansicht von Expert*innen stellen auch abgelegene Industriestandorte ein Risiko für die entsprechenden Unternehmen dar. Insbesondere die Kalkindustrie liege abgelegen und werde voraussichtlich nicht an ein Pipelinennetz angeschlossen werden, so dass für den CO₂-Transport Lastwagen eingesetzt werden müssten, was mit erheblichen Zusatzkosten verbunden sei. Ein weiterer diskutierter Aspekt waren Größenvorteile durch Industriecluster, da Clusterstrukturen eine kosteneffiziente Umwandlung ermöglichten. Es bleibt offen, wo genau die Pipelines im Mitteldeutschen Revier verlaufen werden und welche Industrieunternehmen in der Region von einer direkten Anbindung profitieren werden.

Einige, wenn auch wenige, Industrieexpert*innen wiesen darauf hin, dass neben den Verkehrsinfrastrukturen auch die technischen Anlagen zur Kohlenstoffabscheidung aufgrund ihrer voraussichtlichen Größe einen erheblichen Eingriff in soziale und ökologische Schutzgüter darstellen könnten. Ebenfalls wenige Industrieexpert*innen erörterten darüber hinaus, es gäbe weiteren Bedarf an zusätzlichen Infrastrukturen, beispielsweise um den zusätzlichen hohen Energieverbrauch von industriellem CCS zu decken.

Die befragten Industrieexpert*innen wiesen darauf hin, dass Infrastrukturmaßnahmen, insbesondere Neubauten, vermutlich auf Proteste stoßen würden. Sie betonten, dass die öffentliche Akzeptanz von Infrastrukturen, ob es sich nun um Pipelines, Eisenbahnnetze oder Autobahnen handele, immer von der Stimmung in der Bevölkerung abhänge. Soziale Konflikte wurden im Fall von CO₂-Pipelines als unvermeidlich angesehen.

Die befragten Infrastrukturbetreiber berichteten, dass Proteste im Zusammenhang mit Netzausbauten in den vergangenen Jahren überproportional hoch waren. Als mögliche Gründe für diese Widerstände nannten die Befragten u. a. die erheblichen räumlichen Auswirkungen von Infrastrukturen, die Beeinträchtigung von Flora und Fauna und die damit verbundene Beeinträchtigung sozialer Güter, wie z. B. die Lärmbelastung der Anwohner.

Eine Umweltschutzorganisation berichtete, dass sie in den Küstenregionen bereits kontroverse Diskussionen innerhalb der lokalen Bevölkerung über den Infrastrukturausbau beobachtet hätte. Im Gegensatz zu Industrieregionen wie NRW würden diese Regionen ausschließlich die Nachteile eines solchen Ausbaus zu tragen haben, ohne direkt vom Erhalt energieintensiver Industrien zu profitieren, die in anderen Regionen angesiedelt sind.

Politische Voraussetzungen

Die vier Akteursgruppen betonten in den Interviews unterschiedliche Schwerpunkte, wenn es um die notwendigen politischen Rahmenbedingungen einer Nutzung von industriellem CCS ging.

Umweltschutzorganisationsvertreter*innen betonten häufig, dass industrielles CCS erst nach Ausschöpfung aller anderen möglichen Dekarbonisierungsoptionen zum Einsatz kommen dürfe. Der Emissionsreduktion solle unbedingt Vorrang vor industriellem CCS eingeräumt werden. Eine zentrale Forderung war auch, dass der Einsatz von industriellem CCS auf unvermeidbare Emissionen beschränkt bleiben müsse und dass die Einsatzgebiete sorgfältig ausgewählt werden müssten. Von allen Akteursgruppen legten die Umweltschutzorganisationen in den Interviews den größten Wert auf die Relevanz der Beteiligung der Zivilgesellschaft. Sie erklärten, dass mehr und bessere Beteiligung erforderlich sei und betonten die Bedeutung von Transparenz, Empowerment und Dialogen. Die Gewerkschaftsvertreter*innen konzentrierten sich in den Interviews erwartungsgemäß auf Arbeitnehmer*innen und ihre Lebensbedingungen. Sie betonten, dass Arbeitnehmer*innen in der Entwicklung nicht außer Acht gelassen werden dürften und dass der Erhalt oder die Schaffung neuer guter Arbeitsplätze unerlässlich sei. Die Notwendigkeit der Aus- und Weiterbildung von Arbeitnehmer*innen wurde häufig diskutiert. Andere Themen wie Partizipation⁹² und die Notwendigkeit, dass Unternehmen bei der Transformation unterstützt werden müssten, wurden angesprochen.

In den Gesprächen mit Unternehmensvertreter*innen spielte die Beteiligung der Zivilgesellschaft eine untergeordnete Rolle. Die Gespräche waren maßgeblich von den Themen Investitionen, Subventionen und Wettbewerbsfähigkeit geprägt. Die Sorge, dass deutsche Unternehmen durch teure Klimaschutzmaßnahmen wie industrielles CCS international nicht mehr wettbewerbsfähig seien, insbesondere im Vergleich zu CO₂-belasteten Produkten aus dem Ausland, war ein zentraler Bestandteil der Interviews. Daraus resultierte in den Interviews der Wunsch nach staatlicher Unterstützung, um hohe Investitionsrisiken abzufedern.

Auch die Industrieverbände besprachen diese Themen und wählten eine vergleichbare Argumentation wie die Unternehmensvertreter*innen. Sie diskutierten jedoch insgesamt vielfältiger als die Unternehmensvertreter*innen. Sie betonten die Bedeutung von Partizipation, einer klaren und offenen Kommunikation sowie die Bedeutung der Unterstützung aus der Bevölkerung für Technologien wie industrielles CCS.

⁹² Partizipation meint die Beteiligung der organisierten Zivilgesellschaft und von Bürger*innen an der Lösung gesellschaftlicher Probleme und dem Bestreiten gesellschaftlicher Herausforderungen.

4.5 Partizipation in der Industrietransformation – Das Projekt PartInKN

Im Rahmen der Studie PartInKN (Partizipation in der Industrietransformation Klimaneutral) wurde ein systematisches Vorgehen entwickelt, um frühzeitig den Bedarf an Partizipation und Empowerment in Industrietransformationsprojekten zu ermitteln. Dieser Ansatz wurde exemplarisch in einem ersten Anwendungsfall am Beispiel der geplanten CO₂-Pipeline von Open Grid Europe (OGE) im Rheinischen Revier validiert. Diese Pipeline soll von Köln in Richtung Belgien verlaufen und eine dortige Netzanbindungen ermöglichen. Es handelt sich dabei um den Abschnitt des North Sea CO₂ Corridors, der das nationale CO₂-Startnetz von OGE mit dem belgischen CO₂-Netz verknüpfen soll. Der belgische Ferngasnetzbetreiber Fluxys hält einen 24%-Anteil an dem deutschen Ferngasbetreiber OGE und hat mit OGE eine Kooperation zum grenzüberschreitenden Transport von CO₂ geschlossen (Terplan, 2023).

Die Untersuchung war Teil des Projekts IN4climate.RR, das im Rheinischen Revier angesiedelt ist und dort aktiv die Industrietransformation zur Klimaneutralität unterstützt. Ziel der untersuchten CO₂-Pipeline war laut Betreiberangaben die Anbindung industrieller Standorte, weswegen im Projekt eine Nutzung im Zusammenhang mit industriellen CCS-Anwendungen zugrunde gelegt wurde. Zum Untersuchungszeitpunkt (Ende 2023 bis Mitte 2024) befand sich das Projekt noch in einer frühen Phase. OGE hatte lediglich eine grobe Netzskizze veröffentlicht, während konkrete Planungsschritte noch nicht erfolgt waren.

Die Fragestellungen und Ergebnisse der Studie sind auch im Mitteldeutschen Revier von höchster Relevanz, da die Entwicklung eines CO₂-Netzes bundesweit erfolgt und nicht auf ein Revier beschränkt ist. Auch das Validierungsbeispiel ist gut übertragbar, da auch im Mitteldeutschen Revier eine CO₂-Pipeline durch OGE in der Planung ist.

Systematisches Vorgehen

Das zentrale Ergebnis der Untersuchungen ist ein systematisches Vorgehen, mit dem sich analysieren lässt, zu welchem Zeitpunkt und in welcher Form die Einbindung der Zivilgesellschaft in konkrete Projekte zur industriellen Transformation erfolgen sollte. Zudem wird ermittelt, welche Informationen zivilgesellschaftliche Akteur*innen benötigen, um sich fundiert in solche Projekte einbringen zu können. Das Vorgehen kann im Mitteldeutschen Revier auf Industrietransformationsprojekte mit Bezug zur Kohlenstoffwirtschaft aber auch darüber hinaus Anwendung finden.

Das systematische Vorgehen wird grafisch in Abbildung 4.4 dargestellt.

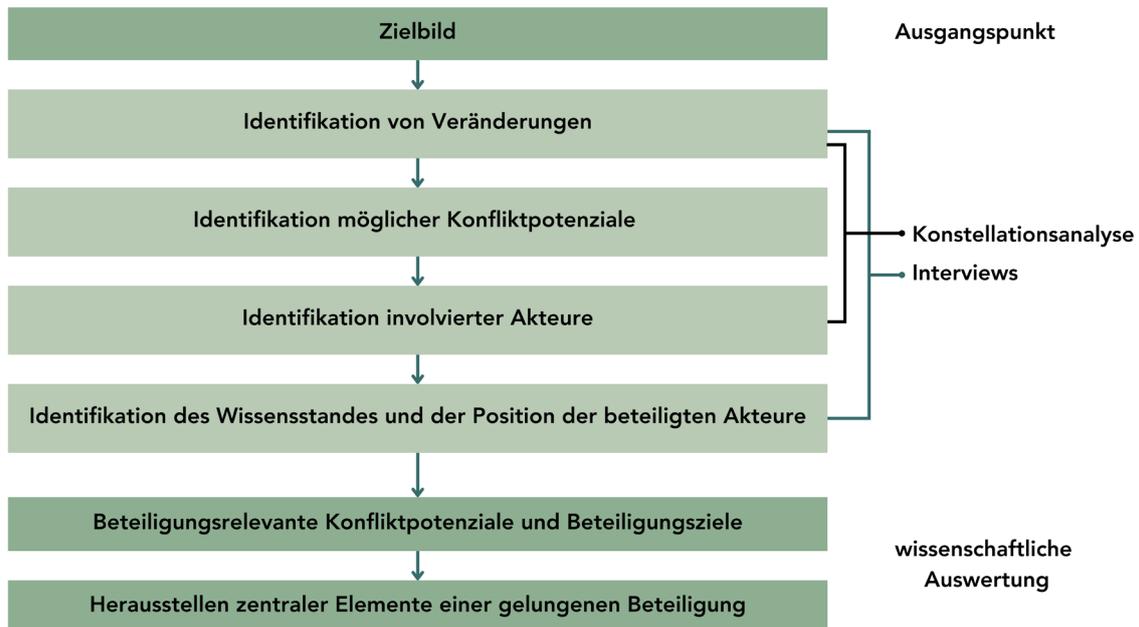


Abb. 4.4: Systematisches Vorgehen zur Ermittlung von Partizipations- und Empowermentbedarfen (Kolde et al., unveröffentlicht)

Im ersten Schritt des entwickelten Vorgehens wird ein konkretes Zielbild im Rahmen der Industrietransformation zur Klimaneutralität definiert, das als Grundlage für die Analyse von Partizipations- und Empowerment-Bedarfen dient. Dieses Zielbild fungiert als Ausgangs- und Orientierungspunkt der Untersuchung und bildet in der Regel ein spezifisches Projektvorhaben ab (z. B. den Bau von Elektrolyseanlagen).

Da Konflikte in der Industrietransformation vor allem durch Veränderungen hervorgerufen werden, konzentriert sich der erste Analyseschritt auf die Identifikation der erwartbaren Veränderungen im Übergang vom heutigen Ausgangszustand hin zum Zielbild. Dieser Arbeitsschritt erfolgt zunächst theoretisch durch eine Analyse des Transformationspfades, ergänzt durch eine unterstützende Literaturrecherche.

Auf Basis der antizipierten Veränderungen werden mögliche Konfliktpotentiale abgeleitet. Dabei werden die Aspekte identifiziert, bei denen unterschiedliche Interessen aufeinandertreffen und die Umsetzung der Transformation potenziell behindern oder verhindern könnten.

Zur systematischen Darstellung dieser Konfliktpotentiale wird eine Konstellationsanalyse durchgeführt. Diese Methode liefert eine grafische Übersicht, die Akteur*innen, Veränderungen und Konfliktherde miteinander in Beziehung setzt. Die Konstellationsanalyse beleuchtet die Interdependenzen und Machtverhältnisse zwischen verschiedenen Systemkomponenten, Akteur*innen sowie deren Interessen in einem spezifischen Kontext. So können potenzielle Konflikte und Chancen innerhalb des Transformationsprozesses identifiziert werden. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde die Konstellationsanalyse unter anderem genutzt, um relevante Interviewpartner*innen zu bestimmen und nicht relevante auszuschließen.

Den Kern des systematischen Vorgehens bildet ein Interviewprozess mit zentralen Stakeholdern. Im Fokus stehen dabei insbesondere Akteur*innen der organisierten Zivilgesellschaft, die in räumlicher und thematischer Nähe zum Transformationsprozess agieren. Dazu zählen beispielsweise Gewerkschaften, Umweltschutzorganisationen oder Bürgerinitiativen. Diese Akteur*innen sind häufig direkt

oder indirekt von den Auswirkungen des Transformationsprozesses betroffen, Zielgruppe von Partizipationsformaten und können repräsentativ für die Belange der Bürger*innen stehen.

Für die wissenschaftliche Verwertbarkeit sollten die Interviews auf Grundlage eines strukturierten Leitfadens durchgeführt werden. Im Rahmen der Befragungen sollten die Akteur*innen zu folgenden Aspekten Stellung nehmen:

1. über welches Wissen sie hinsichtlich der gesamtsystemischen Zusammenhänge der Planungen für eine klimaneutrale Industrie verfügen,
2. welches Verständnis sie vom geplanten Projekt haben, sowohl in fachlicher als auch in organisatorischer Hinsicht,
3. welche Haltung sie gegenüber dem geplanten Projekt einnehmen,
4. in welchem Umfang sie bisher in die Planungen eingebunden waren,
5. welche Erfahrungen sie in der Vergangenheit mit Beteiligungsprozessen und vergleichbaren Projekten gesammelt haben,
6. wie eine ideale Gestaltung der Beteiligung in Bezug auf das spezifische Projekt aus ihrer Sicht aussehen sollte,
7. welche Wissensbedarfe sie in Bezug auf das jeweilige Vorhaben haben.

Der vollständige Fragebogen befindet sich im Anhang, er kann gleichermaßen Anwendung finden auf zivilgesellschaftliche Institutionen im Mitteldeutschen Revier.

Die systematische Auswertung der Interviews ermöglicht die Identifikation bereits vorhandener Konflikte, potenzieller Konfliktfelder, bestehender Wissenslücken sowie Vorstellungen der Befragten über Beteiligungsprozesse.

Auf Basis der Interviews und der vorausgegangenen Analysen werden abschließend zentrale Elemente für eine erfolgreiche Beteiligung abgeleitet. Diese umfassen unter anderem den Gegenstand der Beteiligung, die beteiligten und durchführenden Akteur*innen, die erforderlichen Wissensressourcen in der Zivilgesellschaft, geeignete Beteiligungsformate sowie optimale Zeitpunkte für deren Umsetzung.

Validierungsbeispiel

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde das systematische Vorgehen exemplarisch am geplanten North-Sea-CO₂-Corridor von OGE erprobt, um dessen Anwendbarkeit zu validieren. OGE, ein Unternehmen, das gegenwärtig Erdgas transportiert, plant eine CO₂-Pipeline durch das Rheinische Revier zu verlegen, welche von Köln in Richtung Belgien führt und dort angebunden werden soll. Ob es im Rheinischen Revier Einspeise- oder Entnahmestellen geben wird oder das CO₂ lediglich durchgeleitet wird, war zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht geklärt. Die genaue Trassenlage ist noch nicht offiziell bekannt, ein Abgleich mit einer Übersichtskarte der von OGE geplanten Trasse mit aktuell verfügbaren Netzkarten für die bestehenden Ferngasnetze von OGE ermöglichen aber die Identifikation eines sehr plausiblen Trassenverlaufes. Eine ähnliche Pipeline ist derzeit seitens OGE durch das Mitteldeutsche Revier geplant.

In vorbereitenden Analysen identifizierte das Projektteam potenzielle Veränderungen und Konflikte, die sich durch Planung und Bau der Pipeline ergeben könnten. Diese Ergebnisse wurden anschließend in der internen Fachgruppe für Kohlenstoff des Wuppertal Instituts überprüft. Darauf aufbauend erfolgte eine Konstellationsanalyse, um die relevanten Akteur*innen und Systemkomponenten miteinander in Beziehung zu setzen. Abbildung 4.5 zeigt eine zusammenfassende Darstellung dieser Analyse. Sie hebt zwei zentrale Konfliktfelder hervor: die lokale Betroffenheit und die sozialpolitische Akzeptanz von industriellem CCS. Beide Felder betreffen sowohl einzelne Bürger*innen als auch die organisierte Zivilgesellschaft, die sich häufig als kritische Stakeholder in Akzeptanzfragen erweisen.

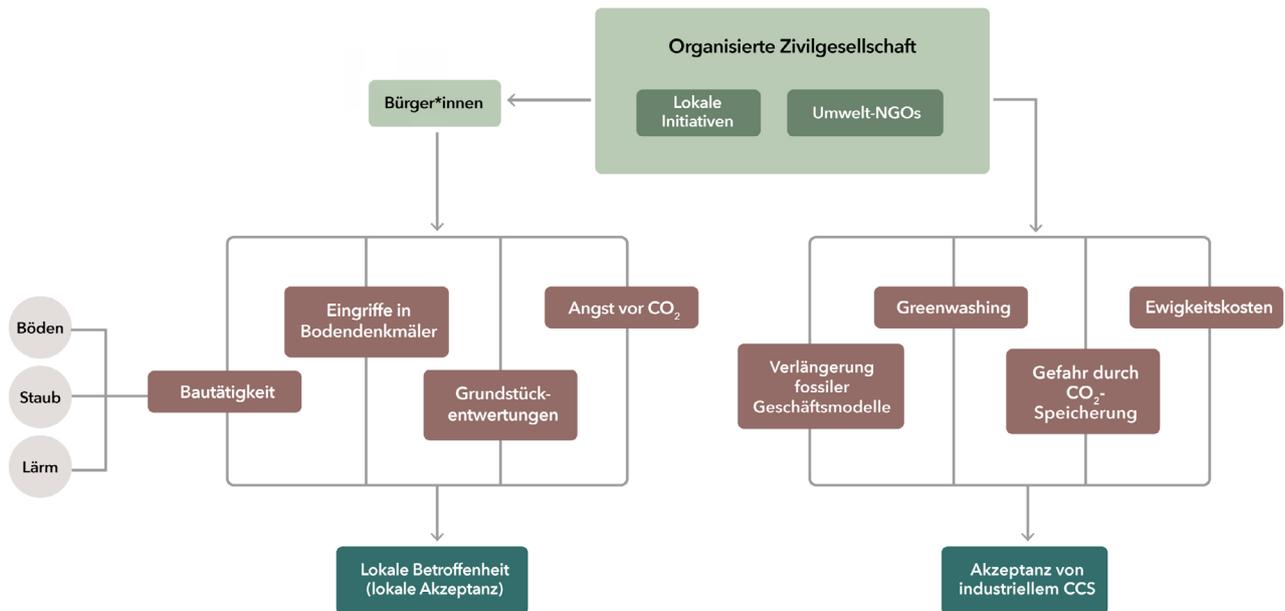


Abb. 4.5: Konstellationsanalyse akzeptanzkritischer Konfliktfelder einer geplanten CO₂-Pipeline (komprimierte Darstellung) (Kolde et al., unveröffentlicht)

Im Rahmen der Untersuchung wurden relevante Akteur*innen der organisierten Zivilgesellschaft als Interviewpartner*innen identifiziert. Insgesamt fanden sechs Einzelinterviews statt (siehe Tabelle 4.2), an denen Umweltschutzorganisationen, kirchliche Institutionen und eine Bürgerinitiative teilnahmen.

Stakeholder	Funktion	Interview ID in chronologischer Reihenfolge (N=6)
Umweltschutzorganisation	Schutz der Biosphäre und Engagement für eine nachhaltige Entwicklung	#3 #4 #5
Kirchliche Einrichtungen	Zusammenschluss zur Vertretung christlicher Interessen	#2 #6
Bürgerinitiative	Vertretung bürgerlicher Interessen auf einer lokalen/regionalen Ebene	#1

Tabelle 4.2: Interviewsample PartInKN (Kolde et al., unveröffentlicht)

Die Interviews offenbarten eine stark variierende Wissensbasis der Teilnehmer*innen über industrielles CCS. Während einige kaum Kenntnisse hatten, verfügten andere über ein umfassendes Verständnis. Hinsichtlich der geplanten Pipeline hatte nur eine Person periphere Kenntnisse. Um einen vergleichbaren Informationsstand zu gewährleisten, erhielten die Befragten vorab vorbereitete Texte zu industriellem CCS und der Pipelineplanung sowie eine Interweisung im Interviewprozess. Im weiteren Verlauf bestätigten die Interviewpartner*innen zwei zentrale Konfliktfelder, die bereits in den projektinternen Hypothesen formuliert wurden (siehe Abbildung 4.5):

1. **Lokale Auswirkungen der Pipeline:** Dieses Konfliktfeld umfasst sowohl ökologische als auch soziale Effekte. Es wurde erwartet, dass der Bau der Pipeline in Biotope eingreift und negative Umweltauswirkungen mit sich bringt. Falls die Pipeline auf bestehenden Erdgasstrassen verläuft, wurden jedoch geringere ökologische Auswirkungen antizipiert. Sozialer Widerstand, insbesondere durch persönliche Betroffenheit und den NIMBY-Effekt, wurde als potenzielles Problem benannt, wobei nur einzelne Akteur*innen dies nicht als relevanten Konflikt wahrnahmen.
2. **Widerstand gegen CCS als Technologie:** Die Pipeline könnte als Symbol für eine allgemeine Ablehnung von CCS wahrgenommen werden, was politisch motivierte Proteste auslösen könnte.

Diese Konfliktfelder wurden nicht nur in zwei Analyseschritten des Projektes PartInKN bestätigt, sondern ebenso im Projekt Protanz.NRW. Eine Übertragbarkeit auf das Mitteldeutsche Revier ist naheliegend. Eine Minderheit der Befragten erwartete weder auf lokaler noch auf politischer Ebene signifikante Widerstände.

Die ermittelten Informationsbedarfe spiegelten diese Konfliktfelder wider. Vier Interviewpartner*innen wünschten sich mehr Wissen über industrielles CCS, um Nutzen und Risiken der Pipeline besser bewerten zu können. Zwei weitere sahen diesen Bedarf explizit nicht. Zusätzlich äußerten fünf Befragte den Wunsch nach detaillierten Informationen über die Pipeline selbst, insbesondere zur Trassenführung, Bautätigkeiten, Tiefe und Breite sowie den Auswirkungen auf Biotope und geschützte Arten. Die Vorstellungen einer optimalen Beteiligung waren vielfältig, jedoch wurde eine Unzufriedenheit mit bisherigen Prozessen im Rheinischen Revier deutlich. Die Mehrheit der Befragten forderte einen frühzeitigen und offenen Dialog, bei dem Rückmeldungen aus der Bevölkerung tatsächlich Berücksichtigung finden. Zudem wurde die Notwendigkeit betont, die Informationen verständlich und zielgerichtet aufzubereiten. Kritik gab es an früheren Beteiligungsformaten, die oft unübersichtlich waren oder große Teile der Bevölkerung nicht erreichten.

Zu den vorgeschlagenen Institutionen für die Ausrichtung einer Beteiligung gehörten:

- Unabhängige Expert*innen, wie Umweltschutzorganisationen oder Gutachter*innen
- Kirchliche Institutionen, insbesondere lokale Gruppen,
- Direkt betroffene Bürger*innen, einschließlich der jüngeren Generation
- Betroffene Kommunen,
- Ein zivilgesellschaftliches Bündnis als repräsentative Stimme.

Keine der befragten Personen hielt den Netzbetreiber OGE für eine geeignete ausrichtende Institution. Teilweise wurde das Unternehmen aufgrund seiner wirtschaftlichen Interessen explizit ausgeschlossen. Stattdessen wurde eine unabhängige Instanz als Koordinator bevorzugt, z. B. die Zukunftsagentur Rheinisches Revier, wissenschaftliche Institutionen oder staatliche Stellen wie die Landesregierung. Auch die Zivilgesellschaft und betroffene Kommunen wurden als potenzielle Träger des Prozesses diskutiert.

4.6 Empfehlungen für das Mitteldeutsche Revier

Für das Mitteldeutsche Revier sind trotz vielfältiger Unterschiede Erkenntnisse aus den vorliegenden Untersuchungen aus Nordrhein-Westfalen übertragbar. Der Bau von CO₂-Pipelines ist in beiden Regionen für die lokale Industrie im Rahmen der Transformation zur Klimaneutralität notwendig und Bestandteil der anstehenden Infrastrukturplanung. Die Herausforderungen für die Chemieindustrie sind vor diesem Hintergrund im Mitteldeutschen Chemiedreieck und im Rheinland ähnlich. Dabei darf jedoch nicht übersehen werden, dass die Menschen in den beiden Regionen sehr unterschiedliche Erfahrungen gemacht haben und der Stellenwert einzelner Industrien – nicht zuletzt aufgrund ihres unterschiedlichen Anteils an den Gesamtarbeitsplätzen – stark variieren kann. In einer Befragung zur Einstellung der Bevölkerung im Bezirk der IHK Halle-Dessau aus dem Jahr 2016 waren zum Beispiel 89 % der Befragten der Meinung, dass Industrieunternehmen in der Region gestärkt und weitere Ansiedlungsmöglichkeiten geschaffen werden sollten (IHK Halle-Dessau, 2017).

Für das Mitteldeutsche Revier wird es in den kommenden Jahren von zentraler Bedeutung sein, akzeptanzkritische Aspekte im Zusammenhang mit CCS, aber auch anderen Bestandteilen der Kohlenstoffwirtschaft im Blick zu behalten und diesen zu begegnen. In diesem Zusammenhang werden CO₂-Infrastrukturprojekte künftig auch im Mitteldeutschen Revier an Relevanz gewinnen. Zentrale deutsche und europäische Veröffentlichungen sehen eine Anbindung des mitteldeutschen Chemiedreiecks an eine CO₂-Infrastruktur vor.

Die Vdz veröffentlichte in ihrer Studie *Anforderungen an eine CO₂-Infrastruktur in Deutschland – Voraussetzungen für Klimaneutralität in den Sektoren Zement, Kalk und Abfallverbrennung* aus 2024 eine Karte, in der mögliche CO₂-Bedarfe der chemischen Industrie abgebildet sind. Auch das Mitteldeutsche Revier wird in der Karte als relevantes Cluster erfasst.

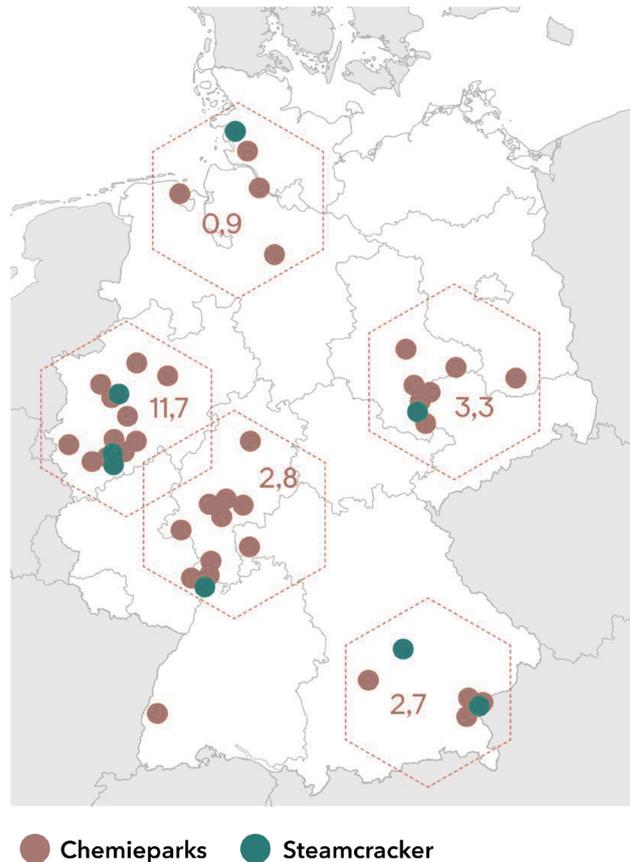


Abb. 4.6: CO₂-Bedarf in der chemischen Industrie - Regionale Verteilung ab 2045 (VDZ, 2024)

Auf europäischer Ebene veröffentlichte die Europäische Kommission in ihrem Papier *Shaping the future CO₂ transport network for Europe* aus 2024 ebenfalls verschiedene Karten, in denen drei verschiedene Szenarien möglicher Pipelinenetze abgebildet sind. Durch das Mitteldeutsche Revier verlaufen in allen drei Szenarien CO₂-Pipelines.

Darüber hinaus hat der voraussichtliche Netzbetreiber OGE bereits eine grobe Trassenplanung veröffentlicht, von der das Mitteldeutsche Revier ebenfalls betroffen ist:



Abb. 4.7: CO₂-Netzplan von OGE (OGE, o. J.)

Aus diesen Entwicklungen und den Ergebnissen der in dieser Studie genannten Forschungsarbeiten lassen sich folgende Empfehlungen für das Mitteldeutsche Revier ableiten:

Wissen über die Einstellung der Menschen generieren

Das Mitteldeutsche Revier braucht eigene Daten, wie seine Einwohner*innen den Infrastrukturausbau im Rahmen der Transformation zur Klimaneutralität einschätzen. Aufgrund der sehr unterschiedlichen gesellschaftlichen, geschichtlichen und wirtschaftlichen Hintergründe sind bundesdeutsche oder nordrhein-westfälische Befragungsergebnisse nur bedingt übertragbar. Es ist zu erwarten, dass der Stellenwert der Industrietransformation im Mitteldeutschen Revier anders ist. In welche Richtung sich diese Veränderung jedoch ausprägt, lässt sich ohne spezifische Daten nur vermuten und entbehrt einer empirischen Grundlage. Daher sollte diese wesentliche Fragestellung Gegenstand weiterer Forschung im Mitteldeutschen Revier sein.

Lokale Akteure kennen und einbinden

Lokale Akteure spielen eine zentrale Rolle bei der Information und Diskussion von Infrastrukturprojekten. Dazu können die organisierte Zivilgesellschaft mit lokalen Umweltgruppen, kirchliche Akteure, lokale Netzbetreiber oder auch die Industrie- und Handelskammern gehören. Eine frühzeitige Identifikation der für das Mitteldeutsche Revier maßgeblichen Akteure ist daher notwendig und sollte zuerst bei denjenigen ansetzen, die während der CCS-Diskussion in den beginnenden 2010er Jahren besonders aktiv waren.

Wissen verbreiten

Eine Diskussion über industrielle Infrastrukturprojekte kann gelingen, wenn die beteiligten Akteure ein ausreichendes Wissen über die technischen und gesellschaftlichen Hintergründe sowie die Not-

wendigkeiten des Ausbaus haben. Dadurch können Konflikte zwar nicht vollständig vermieden werden, aber sie lassen sich auf konkrete Punkte eingrenzen, bei denen inhaltlich begründete Differenzen bestehen. Daher ist es im Mitteldeutschen Revier sinnvoll und notwendig, die lokalen Akteure und die Bevölkerung über die Rolle des Infrastrukturausbaus von CO₂-Pipelines für die Klimatransformation und die zukünftige Wertschöpfung der lokalen Unternehmen zu informieren. Die Ergebnisse aus Protanz.NRW können Hinweise geben, welche Akteure als besonders vertrauenswürdig für diese Wissensvermittlung eingeschätzt werden, für das Mitteldeutsche Revier könnte eine solche Befragung aber möglicherweise andere Ergebnisse erbringen.

Die Untersuchungen in PartinKN zeigen, dass ein Unterschied besteht zwischen der direkten Betroffenheit von Menschen, die unmittelbar mit Infrastrukturprojekten in ihrer Umgebung konfrontiert sind, und der Haltung von Menschen, die die grundsätzliche Notwendigkeit dieser Projekte infrage stellen. Informationen über die Notwendigkeit des CO₂-Pipelineausbaus sind sicher auch für Personen interessant, die direkt von Bautätigkeiten betroffen sind. Allerdings liegen hier andere Arten von Betroffenheit vor, die sich grundsätzlich nicht von anderen Infrastrukturprojekten wie einer Gas- oder Wasserstoffleitung oder dem Straßenbau unterscheiden. Dabei sollte im Mitteldeutschen Revier diese unterschiedlichen Ansätze in der Information und Diskussion mit den lokalen Akteuren unbedingt Rechnung getragen werden und zumindest für die direkte Betroffenheit aus den Erfahrungen von Planungs- und Bauprojekten vor Ort zurückgegriffen werden.

Aus- und Weiterbildung fördern

Neue Technologien und Transformationen bedürfen auch neuer Fähigkeiten bei den Mitarbeiter*innen in Unternehmen und Verwaltung. Auch wenn es möglicherweise keine neuen Berufsbilder im Rahmen des Infrastrukturaufbaues für CCS geben wird, werden doch die nötigen Kenntnisse und Fähigkeiten für bestehende Berufe erweitert, sodass diese in Ausbildungsprogramme übernommen werden müssen. Eine aktive Herangehensweise an diese Herausforderungen im Mitteldeutschen Revier zeigt vor Ort, dass diese Entwicklung Beschäftigungsperspektiven beinhaltet und Gegenstand von Qualifikationsprogrammen sein kann. Damit wird deutlich gemacht, dass die Menschen im Revier aktiv an der Transformation teilnehmen können.

4.7 Literatur

- Bäckstrand, K., Meadowcroft, J., & Oppenheimer, M. (2011). The politics and policy of carbon capture and storage: Framing an emergent technology. *Global Environmental Change*, 21(2), 275–281. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.03.008>
- Duetschke, E. (2011). What drives local public acceptance—Comparing two cases from Germany. *Energy Procedia*, 4, 6234–6240. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.02.636>
- Große-Kreul, F., Altstadt, L., Reichmann, A., Weber, N., & Witte, K. (2024). Understanding public acceptance amidst controversy and ignorance: The case of industrial Carbon Capture and Storage in Germany. *Energy Research & Social Science*, 118, 103838. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103838>
- IHK Halle-Dessau. (2017). *Mehr Industrie wagen! Eine Studie der Industrie- und Handelskammer Halle-Dessau zur Akzeptanz von Industrieunternehmen*. <https://www.ihk.de/halle/share/flipping-book/3739486/flippingbook.pdf>
- Karohs, K. (2013). A Sustainable Technology? How Citizens Movement in Germany Frame CCS and How this Relates to Sustainability. *Master thesis in Sustainable Development at Uppsala University*, No. 127, 55 pages, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:624612/FULLTEXT01.pdf> (zuletzt aufgerufen am 27.01.2025)
- Kolde, L., Weber, N., Zeiss, C., Voigt, S., & Pattberg, L. (o. J.). *Frühzeitige Ermittlung des Bedarfs an Partizipation und Empowerment im Rahmen industrieller Transformationsprojekte: Entwicklung eines systematischen Vorgehens*. [Under Review]
- OGE. (o. J.). *CO₂-Transportnetz*. Abgerufen 18. September 2024, von <https://oge.net/de/co2/co2-netz> (zuletzt aufgerufen am 27.01.2025)
- SCI4climate.NRW. (2023b). *Treibhausgasneutralität in Deutschland bis 2045 - Ein Szenario aus dem Projekt SCI4climate.NRW. Wuppertal Institut & Institut der deutschen Wirtschaft*. https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/Ergebnisse_SCI4climate.NRW/Szenarien/2023/treibhausgasneutralitaet-in-deutschland-bis-2045-szenario-cr-sci4climate.nrw.pdf (zuletzt aufgerufen am 27.01.2025)
- Scovell, M. D. (2022). Explaining hydrogen energy technology acceptance: A critical review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(19), 10441–10459. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.01.099>
- Sovacool, B. K., Bazilian, M. D., Kim, J., & Griffiths, S. (2023). Six bold steps towards net-zero industry. *Energy Research & Social Science*, 99, 103067. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103067>
- Terplan, E. (2023, Dezember 7). Fluxys, OGE und Wintershall Dea planen CO₂-Korridor von Süddeutschland nach Belgien. *gwf-gas.de*. <https://gwf-gas.de/maerkte-und-unternehmen/fluxys-oge-und-wintershall-dea-planen-co2-korridor-von-sueddeutschland-nach-belgien/> (zuletzt aufgerufen am 27.01.2025)
- Van Alphen, K., Van Voorst Tot Voorst, Q., Hekkert, M. P., & Smits, R. E. H. M. (2007). Societal acceptance of carbon capture and storage technologies. *Energy Policy*, 35(8), 4368–4380. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.03.006>
- VDZ. (2024). *Anforderungen an eine CO₂-Infrastruktur in Deutschland—Voraussetzungen für Klimaneutralität in den Sektoren Zement, Kalk und Abfallvermeidung*. https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/zementindustrie/VDZ-Studie_CO2-Infrastruktur-Deutschland.pdf (zuletzt aufgerufen am 27.01.2025)
- Witte, K., Große-Kreul, F., Reichmann, A., Weber, N., & Altstadt, L. (2023). *Akzeptanz von industriellem CCS in Nordrhein-Westfalen: Empfehlungen für Politik und Industrie* [Application/pdf]. 249 KB, 8 pages. <https://doi.org/10.48506/OPUS-8496>

Anhang 6: Fragebogen des Projektes PartinKN

Interview – IN4climate.RR

Interview – IN4climate.RR | 2023/2024

Partizipations- und Wissensbedarfe in der Industrietransformation im Rheinischen Revier

Einleitungstext:

Im Rahmen des Forschungsprojektes IN4climate.RR untersuchen wir derzeit, welche Partizipationsnotwendigkeiten und Wissensbedarfe der Zivilgesellschaft sich im Zuge konkreter Industrietransformationsprojekte ergeben. Im Interview soll es um Ihre Einstellung, Einschätzung und Wissensbedarfe gehen, die mit dem geplanten Bau einer CO₂-Pipeline durch das Rheinische Revier einhergehen.

Dabei geht es nicht darum, korrektes Wissen oder möglichst viel Wissen abzufragen. Es handelt sich bei der CO₂-Pipeline um ein sehr spezifisches Thema und es besteht kein Anspruch, dass Sie über Fachwissen verfügen.

Ziel unserer Forschungsarbeit und somit auch dieses Interviews ist es, zu identifizieren, wann, in welcher Form und von wem die Zivilgesellschaft an einem Planungs- und Umsetzungsprozess einer CO₂-Pipeline durch das Rheinische Revier beteiligt werden sollte und welches Wissen ihr hierfür zur Verfügung gestellt werden müsste.

Ansprechpartner*innen

Christoph Zeiss

christoph.zeiss@wupperinst.org

Tel.: 0202-2492-135

Lisa Kolde

lisa.kolde@wupperinst.org

Tel.: 0202-2492-289

Nora Weber

nora.weber@wupperinst.org

Tel.: 0202-2492-310

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH
Döppersberg 19, 42103 Wuppertal
Abteilung Zukünftige Energie- und Industriesysteme
Forschungsbereich Strukturwandel und Innovation
www.wupperinst.org

Vorstellung und Hintergrund:

1. Was ist Ihre Vorstellung eines sozial fairen und ökologisch nachhaltigen Strukturwandels?
2. Haben Sie Berührungspunkte mit der Industrie? Wenn ja, in welcher Form?
3. Erläutern Sie, was Sie unter Industrietransformation verstehen. Was sind aus Ihrer Sicht die zentralen Bausteine?

Industrielles Carbon Capture and Storage (CCS):

4. Haben Sie schon einmal von dem Begriff Carbon Capture and Storage (CCS) gehört?
5. Haben Sie schon einmal von dem Begriff unvermeidbar anfallende CO₂-Mengen im Zusammenhang mit CCS gehört? Wenn ja, was verstehen Sie unter unvermeidbar anfallenden CO₂-Mengen und was denken Sie, wieviel wissen Sie darüber?

Für energieintensive Industrieunternehmen, die z. B. Stahl, chemische Produkte oder Zement herstellen, besteht nicht die Möglichkeit, durch erneuerbare Energien gänzlich klimaneutral zu werden. In einigen Industrien werden im Produktionsprozess auch künftig aus dem Material selbst Treibhausgasemissionen frei. In der Zementindustrie bspw. werden diese Emissionen durch das Brennen des Gesteins freigesetzt. Eine Möglichkeit zu vermeiden, dass diese Emissionen in die Atmosphäre gelangen ist es, durch „CO₂-Abscheidung und -Speicherung“ (Carbon Capture and Storage (CCS)) das CO₂ aus den Industrieprozessen aufzufangen und es in unterirdischen Lagerstätten zu speichern. Die Speicherung ist aktuell im Ausland möglich, z. B. in leeren Öl- und Gasfeldern tief unter dem Meeresboden in der norwegischen Nordsee oder unterirdisch in Island.

6. Inwieweit würden Sie es als positiv oder negativ einschätzen, wenn CCS von der Industrie in Deutschland genutzt würde?

CO₂-Pipeline im Rheinischen Revier:

7. Hatten Sie bereits vor diesem Interview Kenntnisse von der geplanten CO₂-Pipeline durch das Rheinische Revier? Wenn ja, was wissen Sie darüber und woher beziehen Sie Ihre Informationen?

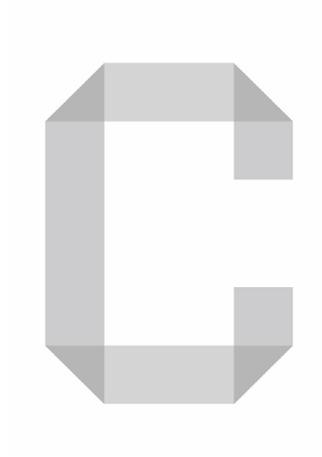
OGE, ein Unternehmen, das derzeit noch Erdgas transportiert, plant, eine CO₂-Leitung durch das Rheinische Revier, von Köln in Richtung Belgien mit dortiger Anbindung zu verlegen. Voraussichtlich wird es im Rheinischen Revier keine Anschlüsse an die Leitung geben. D. h. das CO₂ wird durch das Revier geleitet, der Leitung wird im Revier aber weder CO₂ hinzugefügt noch entnommen.

8. Wie stehen Sie zu der geplanten CO₂-Pipeline? Bitte begründen Sie Ihre Antwort.
9. Welche Veränderungen sozialer, ökonomischer und ökologischer Art, würden Sie durch den Bau der CO₂-Pipeline in der Region erwarten?
10. Wo sehen Sie aus diesen Veränderungen möglicherweise entstehende Konfliktpotentiale?

Beteiligung der Zivilgesellschaft:

11. Haben Sie Erfahrungen mit der Beteiligung an Infrastrukturprojekten?
12. Inwiefern würden Sie sich einen Einbezug der Zivilgesellschaft in den Planungsprozess der CO₂-Pipeline wünschen? *Erweiternd:* An welcher Stelle würden Sie gerne einbezogen werden oder den Einbezug der Zivilgesellschaft generell sehen?
13. Denken Sie, Sie bräuchten mehr Informationen über das Projekt, um sich aktiv beteiligen zu können? Wenn ja, können Sie einschätzen, worüber Sie Informationen bräuchten?
14. Durch wen sollten eventuelle Beteiligungsprozesse Ihrer Meinung nach ausgerichtet werden?
15. Gibt es abschließend noch etwas, das Sie uns mitteilen möchten?

TEILBERICHT V



Perspektiven der Kreislaufwirtschaft im Kontext einer Kohlenstoffwirtschaft

5.1 Einführung: Kreislaufwirtschaft in der Kohlenstoffwirtschaft

Im Kontext einer Kohlenstoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier spielen Kohlenstoff-Kreisläufe eine zentrale Rolle. Gerade vor dem Hintergrund des EU Green Deal (Europäische Kommission, 2021) und der damit angestrebten ressourcenleichten und klimaneutralen Industrie, dem Circular Economy Action Plan der EU (Europäische Kommission, 2020) und der im Dezember 2024 verabschiedeten Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie der Bundesrepublik Deutschland (BMUV, 2024) sowie weiteren nationalen und internationalen politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklungen wird die Notwendigkeit zur Transformation in Richtung einer ganzheitlich gedachten Kreislaufwirtschaft (Circular Economy) besonders deutlich. Insbesondere unter Betrachtung von Kohlenstoff als Ressource (Rohstoff/Grundstoff) im Sinne der Kohlenstoffwirtschaft wird dabei der Querbezug der beiden Themenfelder offensichtlich.

5.2 Studienauftrag für den Teilbericht V

Im Kontext einer Kohlenstoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier spielen Kohlenstoff-Kreisläufe eine zentrale Rolle. Ziel dieses Teilberichtes ist die konzeptionelle Verknüpfung der beiden Themenfelder Kohlenstoffwirtschaft und Kreislaufwirtschaft auf Basis der Erkenntnisse der Teilberichte zu den Akteuren der Kohlenstoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier sowie zu den Kohlenstoffkreisläufen. Ergänzend wurden vorliegende Arbeiten des Wuppertal Instituts zum Thema Kreislaufwirtschaft (u. a. im Zukunftslabor Zirkuläre Wertschöpfung im Projekt In4climate. NRW im Rheinischen Revier) integriert.

Der Teilbericht, der im Rahmen des Projekts „Strukturwandel – Kohlenstoffbasierte Industrien in Mitteldeutschland auf dem Weg in neue Märkte – Wirtschaftliche Ausgangslage und Entwicklungspotentiale“ durchgeführt wurde, soll die konzeptionelle Verknüpfung der beiden Themenfelder „Kohlenstoffwirtschaft“ und „Kreislaufwirtschaft“ auf Basis einer umfassenden Literaturanalyse, bisherigen Projektergebnissen sowie vorliegender Arbeiten des Wuppertal Instituts zum Thema Kreislaufwirtschaft aufzeigen. Da eine vollumfängliche Analyse der möglichen Schnittstellen zwischen Kreislaufwirtschaft und Kohlenstoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier - inklusive der dafür notwendigen Analyse und Einbindung der relevanten Akteur*innen - über den Umfang des Projektes hinausgehen würde, münden die durchgeführten konzeptionellen Arbeiten insbesondere in der Zusammenfassung der zentralen Erkenntnisse der Untersuchungen im Rahmen des vorliegenden Berichts sowie der Konzeption eines (cross-sektoralen) Stakeholder-Workshops, der die Diskussion in der Region sowie die Transformation hin zu einer Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft anstoßen kann.

5.3 Methodik und Systemgrenzen

Ziel der vorliegenden explorativen Analyse, die im Rahmen des Projekts „Strukturwandel – Kohlenstoffbasierte Industrien in Mitteldeutschland auf dem Weg in neue Märkte – Wirtschaftliche Ausgangslage und Entwicklungspotentiale“ durchgeführt wurde, war die konzeptionelle Verknüpfung

der beiden Themenfelder „Kohlenstoffwirtschaft“ und „Kreislaufwirtschaft“ auf Basis einer umfassenden Literaturanalyse, bisherigen Projektergebnissen sowie vorliegender Arbeiten des Wuppertal Instituts zum Thema Kreislaufwirtschaft.

Der Bericht gliedert sich wie folgt: Zunächst wird der aktuelle Stand der Forschung zur konzeptionellen Verknüpfung von Kohlenstoff- und Kreislaufwirtschaft aufgearbeitet (siehe Kapitel 5.4). Die Ergebnisse der Literaturanalyse werden im Folgenden diskutiert und mit weiteren Projektergebnissen bzw. Erkenntnissen in Bezug auf das Mitteldeutsche Revier sowie Vorarbeiten des Wuppertal Instituts in Verbindung gebracht (siehe Kapitel 5.5). Auf Basis der explorativen Analyse schließt der Bericht mit einem Fazit (siehe Kapitel 5.6). Das erarbeitete Workshop-Konzept befindet sich im Anhang dieses Berichts (siehe Anhang 7). Der Teilbericht wurde im Zeitraum zwischen Mai 2024 und Februar 2025 erstellt.

5.4 Stand der Forschung und Kernaussagen

5.4.1 Kohlenstoff- und Kreislaufwirtschaft als Zwillingiskonzepte

Keine nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft ohne eine Kreislaufwirtschaft- keine umfassende Kreislaufwirtschaft ohne eine zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft

In der Literatur wird die Zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft (ZKW) meist als Teil einer umfassenden Kreislaufwirtschaft betrachtet, wobei hierbei sowohl übergreifende als auch sektorspezifische Forschung besteht, namentlich in den Bereichen Kraftstoffe, Biomasse, Kunststoffe und Textilien (vgl. Appolloni et al., 2023; Koytsoumpa et al., 2021; Pires Da Mata Costa et al., 2021; Sankaran, 2023). So betrachtet Frieden (2021) die technologische Weiterentwicklung und Skalierung von CO₂-Abscheidung und Nutzung (Carbon Capture and Utilization, CCU) als notwendige Bedingung für die Etablierung einer tatsächlichen Kreislaufwirtschaft. Umgekehrt sei die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft eine Grundlage dafür, Kohlenstoff aus nachhaltigen Quellen zu gewinnen (Frieden, 2021). Vielmehr bedürfe es einer umfassenden Kreislaufwirtschaft, wenn die Nachfrage nach Kohlenstoffen (insbesondere in der chemischen Industrie) zukünftig aus nicht-fossilen Quellen gedeckt werden soll – unter anderem aus Gründen der Klimaneutralität (Frieden, 2021). Denn einerseits berge die Kreislaufwirtschaft insbesondere hinsichtlich des chemischen und mechanischen Recyclings von Kunststoffen Potentiale (Frieden, 2021). Andererseits könnten abgeschiedene Kohlenstoffe aus industriellen Prozessen wiederum nach Prinzipien der Kreislaufwirtschaft als Grundstoff zurück in den Stoffkreislauf gebracht werden, anstatt – wie im Falle von CO₂-Abscheidung und -Speicherung (Carbon Capture and Storage, CCS) – „verklappt“ bzw. deponiert zu werden (Frieden, 2021). Pires Da Mata Costa et al. (2021) betonen in diesem Zusammenhang insbesondere, dass CCU auch ein wichtiger Schritt sei, um die Produktion und das Recycling von Kunststoffen als CO₂-intensive Prozesse klimaneutral zu gestalten. Die starke Verschränkung zwischen der ökologischen Bewertung von Produktions- und Recycling-Prozessen, der Herkunft hierfür aufgewendeter Energie sowie dem Einsatz von CCU oder CCS zeigt sich dabei insbesondere mit dem Blick auf die Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment, LCA) von Lausselet et al. (2017) für den norwegischen Waste-To-Energy-Sektor. In dieser LCA schneidet die konventionelle Energiegewinnung aus Abfall ökologisch besser gegenüber dem Recycling und der Anwendung von CCS ab, wobei jedoch als wichtige Prämisse der LCA die Annahme eingeführt wird, dass mit zunehmendem Recycling auch der Bedarf nach fossilen Energieträgern steigt.

5.4.2 Interdisziplinäre Anforderungen an eine zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft

Die zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft bedarf technologischer, regulatorischer, ökonomischer und sozio-kultureller Herangehensweisen

Ähnlich wie im bisherigen Forschungsstand zur Kreislaufwirtschaft begreifen auch Newman et al. (2023) die Etablierung einer nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft als eine Aufgabe, die über technologische und regulatorische Maßnahmen hinausgeht. Vielmehr bedürfe es neben ökonomischen auch sozio-kultureller Adaptionen, um Wirtschaft und Gesellschaft so zu transformieren, dass Kohlenstoff nachhaltig verwaltet wird, anstatt unreflektiert konsumiert zu werden. Das Argument baut dabei auf dem Verständnis auf, dass Kohlenstoff eine zu begrenzende Ressource ist, die einer umfassenden Nachvollziehbarkeit und nachhaltigen Handhabung bedarf. Dafür erforderlich sei die Erfüllung dreier Bedingungen: Erstens müssten Kohlenstoffe jenseits fossiler Quellen zugänglich, nutzbar und rezyklierbar sein sowie in ihrer breiten sozialen, ökonomischen und ökologischen Auswirkung nachverfolgbar sein (Newman et al., 2023). Dafür bedürfe es, zweitens, Technologien, die sowohl die Verfügbarkeit als auch die Verwendbarkeit von Kohlenstoffen als Grundlagen für Produktionsprozesse bereitstellen (Newman et al., 2023). Neben diesen technologischen Änderungen betonen die Autor*innen drittens die Rolle von Verhaltensänderungen seitens der Konsument*innen für vollständig geschlossene und nachhaltige Kohlenstoffkreisläufe (Newman et al., 2023).

Als einen beispielhaften Sektor, an dem einige der genannten Punkte aufgezeigt werden können, kann die Modeindustrie herangezogen werden. So haben Appolloni et al. (2023) bestehende Überlegungen zur zirkulären Kohlenstoffwirtschaft auf den Mode-Sektor ausgeweitet, der auch für die Kreislaufwirtschaft eine prominente Rolle einnimmt. So fokussiere sich der bisherige Kreislaufansatz im Modesektor auf die Wiederverwendung von Kleidung, Textilien und Fasern; für eine umfassende Kohlenstoff-Zirkularität benötige es jedoch eines umfassenderen Frameworks (Appolloni et al., 2023). Erforderlich seien demnach fundamentale Veränderungen im energetischen und chemischen Produktionsmodell der Modeindustrie sowie eine Veränderung der Rolle von Konsument*innen, die zukünftig stärker als Prosument*innen⁹³ in Marktdynamiken eintreten müssten (Appolloni et al., 2023).

5.4.3 Nutzbarmachung von Kohlenstoff-Abfallströmen

Die Inwertsetzung von Kohlenstoff- Abfallströmen ist machbar

Eine relevante ökonomische Bedingung, die für die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft im Allgemeinen von hoher Relevanz ist, betrifft die Frage, wie sich unvermeidbare Abfallströme wieder in Wert setzen lassen. Das gilt auch für unvermeidlich anfallende Kohlenstoffe als Abfallstrom im Besonderen. Hiermit setzten sich Tcvetkov et al. (2019) auseinander, indem sie die wirtschaftliche Dynamik und die voraussichtliche Entwicklung der globalen CCU- und CCS-Projekte untersuchten. Dabei kommen sie zu dem Ergebnis, dass nicht nur die Menge des abgeschiedenen Kohlenstoffs zunimmt, sondern auch des wiederverwendeten (Tcvetkov et al., 2019). Im Ergebnis werde abgeschiedener Kohlenstoff aus nicht-fossilen Quellen bereits jetzt als Wertstoffstrom gehandelt, wobei sich diese Entwicklung mit einer Verbesserung und Skalierung von Grundlagentechnologien, der Ausweitung von CO₂-Märkten sowie politischen Regulationen zur Defossilisierung konsolidieren und verstärken

⁹³ Prosument*in ist ein Kofferwort aus den Begriffen „Produzent*in“ und „Konsument*in“ und beschreibt eine Doppelrolle, in der Menschen gleichzeitig beispielsweise Energie produzieren (zum Beispiel über Photovoltaik-Anlagen) und konsumieren.

werde (Tcvetkov et al., 2019) (siehe Abbildung 5.1).

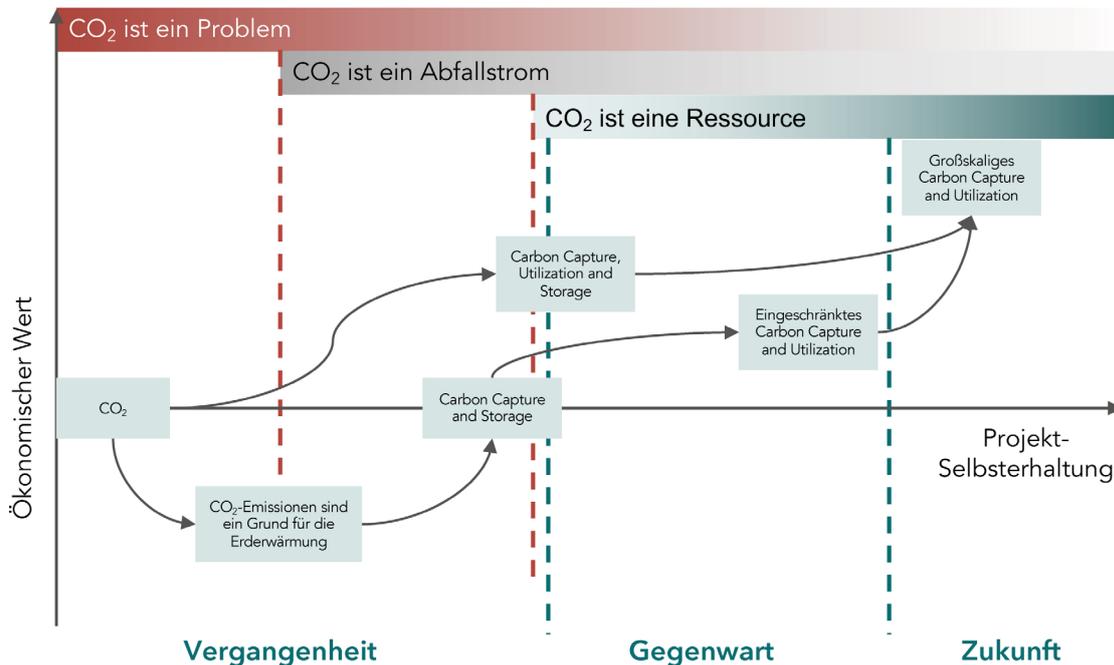


Abb. 5.1: Entwicklung des ökonomischen Werts von Kohlenstoffen (eigene Darstellung nach Tcvetkov et al. (2019))

Sankaran (2023) nennt im Zusammenhang mit der Herstellung von bilanziell klimaneutralen Kraftstoffen insbesondere die Stakeholderkooperation, Lieferketteninnovation sowie Lieferkettensicherheit als relevante zu berücksichtigende Faktoren. Koytsoumpa et al. (2021) beleuchten die Potentiale der Kohlenstoffwirtschaft für eine zirkuläre Bioökonomie. Mittels Bioenergie in Kombination mit CCU (Bio-energy conversion with Carbon Capture and Utilization, BECCU) könnten aus Sicht der Autor*innen Kohlenstoffströme, die gegenwärtig als Abfallströme bei der biogenen Energiegewinnung anfallen, zur Gewinnung CO₂-basierter Antriebsstoffe genutzt werden (Koytsoumpa et al., 2021).

5.4.4 Bewertung der Rolle von CCS in der Kreislaufwirtschaft

CCS- eine Säule der nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft oder die Fortsetzung linearer Kohlenstoffströme

Die bestehende Literatur zu einer Zirkulären Kohlenstoffwirtschaft ist sich darin einig, dass diese ein relevanter Bestandteil einer umfassenden Kreislaufwirtschaft sein muss. Unstimmigkeiten bestehen jedoch bei der Frage, welche Rolle dem CCS aus einer kreislaufwirtschaftlichen Perspektive zukommen soll und darf. Während zahlreiche Ansätze CCS als notwendigen Bestandteil einer bilanziell klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft sehen (vgl. Zeiss, 2025a), betrachten beispielsweise Centi et al. (2024) CCS als unvereinbar mit den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft. Demnach sei CCS ein Vehikel zur Verlängerung linearer Geschäfts-, Produktions- und Nutzungsmodelle und somit der linearen Führung von Kohlenstoff im Allgemeinen. Gegensätzlich hierzu steht die Auffassung von Alsarhan et al. (2021), die CCS im Rahmen ihrer Konzeption einer Circular Carbon Economy als Bestandteil der R-Strategie Re-duce betrachten und damit in den oberen R-Strategien verorten (siehe Abbildung 5.2). Hierbei ist jedoch anzumerken, dass Centi et al. (2024) sich weitaus stärker mit der konzeptionellen Überlegung von Synergien zwischen der Kreislaufwirtschaft und der Kohlenstoffwirtschaft befassen,

während Alsarhan et al. (2021) ihren Fokus auf die einzelnen Technologien und Szenarien der Kohlenstoffwirtschaft im Allgemeinen setzen. Ein wichtiger Aspekt der Debatte um die Notwendigkeit von CCS besteht darin, dass ein Verzicht auf diese Technologie nur mittels umfassender gesellschaftlicher Änderungen und Suffizienzmaßnahmen möglich wäre, deren gesellschaftlicher Rückhalt als umstritten angesehen werden kann. Eine bislang nicht abschließend zu beantwortende Frage bleibt dabei, welche Rolle die Kreislaufwirtschaft in diesem Kontext spielen kann.

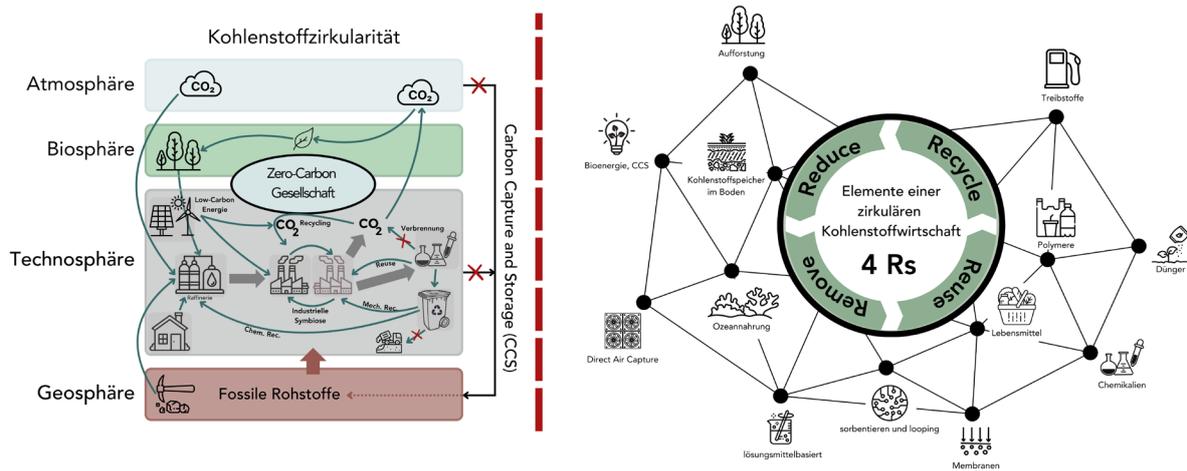


Abb. 5.2: Grafische Gegenüberstellung bestehender Konzepte einer Zirkulären Kohlenstoffwirtschaft (eigene Darstellung nach Centi et al. (2024) und Alsarhan et al. (2021))

5.5 Systematische Diskussion relevanter Strategien

Abgesehen von Centi et al. (2024) und Alsarhan et al. (2021) konzentriert sich ein Großteil der verfügbaren Literatur auf die technologischen und regulativen Herausforderung der Skalierung von Technologien der Kohlenstoffabscheidung und -nutzung, ohne jedoch die konzeptionellen, analytischen und systemischen Zusammenhänge zur Kreislaufwirtschaft detailliert zu beleuchten. Das Konzept der Kreislaufwirtschaft wird in diesen Fällen als Vehikel genutzt, um die Anliegen der (nachhaltigen) Kohlenstoffwirtschaft sowie deren technologischen, ökonomischen und sozialen Herausforderungen zu thematisieren. Vielfach wird stillschweigend angenommen, dass die Prinzipien der Kohlenstoffwirtschaft mit denen der Kreislaufwirtschaft konzeptuell und praktisch ohne größere Herausforderungen vereinbar sind. Im Folgenden sollen die bestehenden Positionen zu den Synergien und Unterschieden der Kreislauf- und der Kohlenstoffwirtschaft daher analytisch und konzeptionell angereichert werden.

Ein grundlegendes Instrument, welches das Konzept der Kreislaufwirtschaft in prägnante Strategien übersetzt, sind die sogenannten R-Strategien (Potting et al., 2016). Ein Vorteil der R-Strategien ist es, dass sie übergreifende Prinzipien konturieren, deren Ausgestaltung jedoch auf vielerlei Wegen geschehen kann – d. h. eine einzelne R-Strategie beschränkt sich nicht auf politische, kulturelle, soziale, technologische oder ökonomische Lösungsansätze, sondern ist grundsätzlich offen für Kombinationen dieser Ansätze. Die Gliederung der nachfolgenden Diskussion zu Grundlagen und Bedingungen

einer nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft aus Perspektive der Kreislaufwirtschaft ist daher an das Instrument der R-Strategien angelehnt. Darüber hinaus sollen bestehende Überlegung zum Aufbau zirkulärer Geschäftsmodelle auf den Stoffstrom der Kohlenstoffe übertragen werden.

Die R-Strategien – und daran angelehnt auch die nachfolgende Diskussion – folgen einer hierarchischen Ordnung basierend auf dem Beitrag zur Umsetzung einer umfassenden Kreislaufwirtschaft (Potting et al., 2016). Strategien mit kleinerer Ordnungszahl (R0: Refuse, R1: Rethink, R2: Reduce) haben einen größeren Hebel in Bezug auf Zirkularität als diejenigen mit einer mittleren (R3: Reuse, R4: Repair, R5: Refurbish, R6: Remanufacture, R7: Repurpose) oder hohen Ordnungszahl (R8: Recycle, R9: Recover), von denen letztere am nächsten an einem linearen Wirtschaftssystem bleiben.

5.5.1 Strategien zur Reduktion des Kohlenstoffbedarfs

Kohlenstoffbedarf verringern- Refuse, Rethink und Reduce

In vielen Strategiepapieren für eine nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft, wie dem Eckpunktepapier der Carbon Management Strategie oder dem Eckpunktepapier der Langfriststrategie Negativemissionen der deutschen Bundesregierung, wird eine vollständigen Defossilisierung und eine weitestgehende Dekarbonisierung anvisiert (vgl. BMWK, 2024a, 2024c). Technologien wie CCU oder CCS sollen bestenfalls nur dort angewendet werden, wo CO₂-Emissionen unvermeidbar sind, während vermeidbare Emissionen unter anderem durch die Substitution von Energieträgern und die Umstellung von Produktionsprozessen wegfallen. Begründet werden kann dies in mehrfacher Hinsicht. Einerseits wird der erhebliche Aufwand, der mit der Abscheidung, dem Transport, der Aufbereitung oder Speicherung von Kohlenstoffen (insbesondere CO₂) einhergeht dadurch auf ein Mindestmaß reduziert und fossile Geschäftsmodelle zunehmend unattraktiv. Andererseits gehen mit der Positivbilanzierung von Treibhausgasemissionen soziale und ökologische Folgen einher, die neben dem Ziel der Klimaneutralität ebenfalls von hoher Relevanz für eine nachhaltige Entwicklung sind. So werden, Stand heute, in vielen Szenarien zu einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft der Import synthetischer Grund- und Kraftstoffe sowie die Verwendung von Biomasse im Rahmen von Bioenergie in Kombination mit CCS (Bio-energy with Carbon Capture and Storage, BECCS) als grundlegend angesehen, um bilanziell negative Emissionen zu erzeugen (vgl. Espert & Zeiss, 2025).

BECCU wird insbesondere bei der Herstellung CO₂-basierter Antriebsstoffe, als zusätzliche Wertschöpfungsoption für Abfallverbrennungsanlagen sowie bei der biogen-basierten Beifeuerung in der Zementproduktion eine wichtige Rolle zugesprochen (Koytsoumpa et al., 2021). Allerdings gehen sowohl die heimische Produktion von Biomasse als auch der Import synthetischer Kraftstoffe mit sozialen und ökologischen Folgekosten einher, wie dem Verlust von Habitaten und einer zusätzlichen Belastung der Biodiversität, einem zusätzlichen Flächenverbrauch, einer Konkurrenz zur Ernährungssicherheit sowie generell konkurrierender Ansprüche an die Flächennutzung (vgl. SRU, 2024; Wagner, 2023). Insgesamt kommen also auch Direct Air Capture, die Herstellung synthetischer Kraftstoffe und BECCS einem Ressourcenverbrauch (unter anderem von Energie, seltenen Erden, Fläche) gleich, der ganz grundsätzlich auf ein Mindestmaß zu reduzieren ist. Dies deckt sich mit den obersten drei R-Strategien der Kreislaufwirtschaft. Diese stellen die effektivsten Maßnahmen zur Herstellung einer Kreislaufwirtschaft – und in diesem Fall einer nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft – dar, mit deren Hilfe auf zusätzlichen Ressourcenverbrauch verzichtet und dieser reduziert wird. Im Kontext des Mitteldeutschen Reviers bezieht sich der Ansatz „Kohlenstoffbedarf verringern“ zum

Beispiel auf die Abkehr von fossilen Brennstoffen zur Strom- und Wärmeerzeugung und der Abkehr von der Erzeugung von chemischen Grundstoffen im mitteldeutschen Chemiedreieck. Prägnantes Beispiel ist die TotalEnergies Raffinerie Mitteldeutschland, die in großem Maßstab fossile Brennstoffe aus Rohöl sowie Naphta und Methanol für die Petrochemie herstellt. Durch das Ende der fossilen Brennstoffe und die Notwendigkeit, fossile Rohstoffe in der Grundstoffchemie zu ersetzen, ergeben sich hier tiefgreifende Veränderungen in den lokal genutzten Kohlenstoffströmen.

5.5.2 Strategien zur Verlängerung der Nutzungsdauer

Kohlenstoffbindung verlängern- Reuse, Repair, Refurbish, Remanufacture, Repurpose

Auch der Bindungsdauer von Kohlenstoffen in Gebrauchsgegenständen und Materialien der Technosphäre kommt eine entscheidende Rolle bei der Nachhaltigkeitsbewertung des Kohlenstoffeinsatzes zu. Während die Bindungsdauer beispielsweise in synthetischen Kraftstoffen vergleichsweise kurz ist, also nur eine Art „Umweg“ nimmt, bevor es in die Atmosphäre entweicht, können beispielsweise langlebige Polymere, aber auch Baumaterialien Kohlenstoffe für lange Zeiträume binden. Kohlenstoffe, die in Materialien und Gegenständen gebunden sind, deren Verbleib sicher ist und für die eine transparente Kontrollierbarkeit besteht, sind „gut verwaltete“ Kohlenstoffe – um zu dem Bild zurückzukommen, das Newman et al. (2023) für ein nachhaltiges Kohlenstoffmanagement zeichnen.

Hier kommt die eigentliche Stärke des Kreislaufwirtschaftsansatzes für eine nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft zum Tragen. Ganz im Sinne dessen geht es daher zunächst primär darum, kohlenstoffhaltige Produkte (oder Produkte aus Herstellungsprozessen mit unvermeidbaren CO₂-Emissionen) auf eine möglichst lange Nutzungsdauer und intensive bzw. vielfache Nutzungen zu konzipieren sowie so zu designen, dass Reparaturen oder die Wiederverwendung von Bauteilen möglich sind. Für die Kunststoffindustrie, die nach wie vor von Kohlenstoffen als Grundstoff abhängig ist, würde dies beispielsweise bedeuten, dass Geschäftsmodelle, die vom Verkauf von Einweg-Kunststoffen abhängig sind, durch solche ersetzt werden, die eine vielfache und langfristige Nutzung fördern. Im Baubereich wiederum könnten Zement und Kalk eingespart werden, indem mehr saniert, weniger neu und wenn, dann zirkulär sowie mit Rohstoffen natürlicher Herkunft gebaut wird. Während die R-Strategien R3-R7 in der Kreislaufwirtschaft also auf die Verlängerung von Produktlebensdauern abzielen, bedeutet dies, adaptiert auf eine nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft, die Bindungsdauer von Kohlenstoffen zu verlängern. Einerseits soll dadurch der Bedarf an Kohlenstoffen insgesamt reduziert werden, andererseits erleichtert dies den Umgang mit als Abfall anfallenden Kohlenstoffströmen, die in ihrer Quantität gemindert werden.

Der Ansatz „Kohlenstoffbindung verlängern“ adressiert im Mitteldeutschen Revier zum Beispiel die Kunststoffindustrie und Bauwirtschaft. Durch eine Fokussierung auf langlebige Produkte und Komponenten in Kombination mit nutzungs- statt verkaufsorientierten Geschäftsmodellen können gebundene Kohlenstoffe länger im Nutzungskreislauf gehalten werden, bevor ihre – oftmals energie- und emissionsintensive – Verwertung als Abfallstrom notwendig wird. Ein Beispiel aus dem Mitteldeutschen Revier ist die Schüco PWS Produktions KG in Weißenfels, die sich auf die Herstellung und den Vertrieb von Kunststoffsystemen, insbesondere Kunststofffenstern, spezialisiert hat und dabei besonderen Wert auf die Kreislaufwirtschaftsfähigkeit ihrer Produkte legt.

5.5.3 Strategien zur Rückführung und Wiederverwertung

Kreislaufführung von Kohlenstoffabfällen- Recycle und Recover

Zu guter Letzt sollte aus kreislaufwirtschaftlicher Perspektive derjenige Kohlenstoff, der in Produktionsprozessen unvermeidbar anfällt oder aus der Technosphäre als Abfallstrom ausscheidet, weitestgehend wieder in einen Kreislauf zurückgeführt werden. Auch hier ist darauf zu achten, dass die Produkte, die aus solchen Kohlenstoffen (nur mittelbar fossilen bis nicht-fossilen Ursprungs) hergestellt werden, wiederum eine möglichst lange Nutzungsdauer haben. Indem in der Kreislaufwirtschaft Abfallströme im Allgemeinen wieder in Wert gesetzt und einer Nutzung zugeführt werden sollen, können hierbei insbesondere Synergien zu kohlenstoffintensiven Abfallströmen entstehen. Beispiele hierfür sind die Altreifenpyrolyse oder auch das Recycling von Matratzen, was sowohl aus kreislaufwirtschaftlicher als auch hinsichtlich einer nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft Vorteile bietet. Ein weiteres Beispiel ist die verstärkte Getrenntsammlung von Bioabfällen, die in einer stofflichen und energetischen Kaskadenführung in Kombination mit BECCS potenzielle Negativemissionen erzeugen können, die bei einer Kompostierung oder thermischen Verwertung nur in geringerem Ausmaß realisiert würden.

Mit Blick auf die letzte R-Strategie – R9: Recover – bieten CCU und CCS im Rahmen der Kohlenstoffwirtschaft wiederum Möglichkeiten die thermische Verwertung von unvermeidbaren Restabfällen klimafreundlicher zu gestalten. Übergeordnetes Ziel aus kreislaufwirtschaftlicher Perspektive ist es dennoch, diese unvermeidbaren Restabfälle auf ein Mindestmaß zu reduzieren, wobei hier darauf zu achten ist, dass eine potenzielle klimaneutrale thermische Verwertung von Restabfällen nicht zu Lasten der Vermeidung von Restabfällen wirkt.

Beispiele für den Ansatz „Kreislaufführung von Kohlenstoffabfällen“ im Mitteldeutschen Revier beziehen sich unter anderem auf die verbesserte Sammlung, Sortierung und stoffliche oder chemische Verwertung von Kunststoffabfällen durch die lokalen bzw. regionalen Abfallwirtschaftsbetriebe oder privatwirtschaftliche Anbieter sowie den effizienten Betrieb von Müllheizkraftwerken zur Strom- und Wärmeproduktion. In Sachsen plant die Firma Mura Technology am Standort von Dow in Böhlen die Errichtung einer Anlage zum chemischen Recycling von bis zu 120.000 t Kunststoff/Jahr. Sie soll auch mehrschichtige Mischkunststoffe, die bislang als nicht trennbar gelten und in der Verbrennung landen, in Ausgangsstoffe für die Herstellung neuer Produkte umwandeln.

Die Verknüpfung des Konzepts der R-Strategien mit einer zirkulären, nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft ist in Abbildung 5.3 dargestellt.

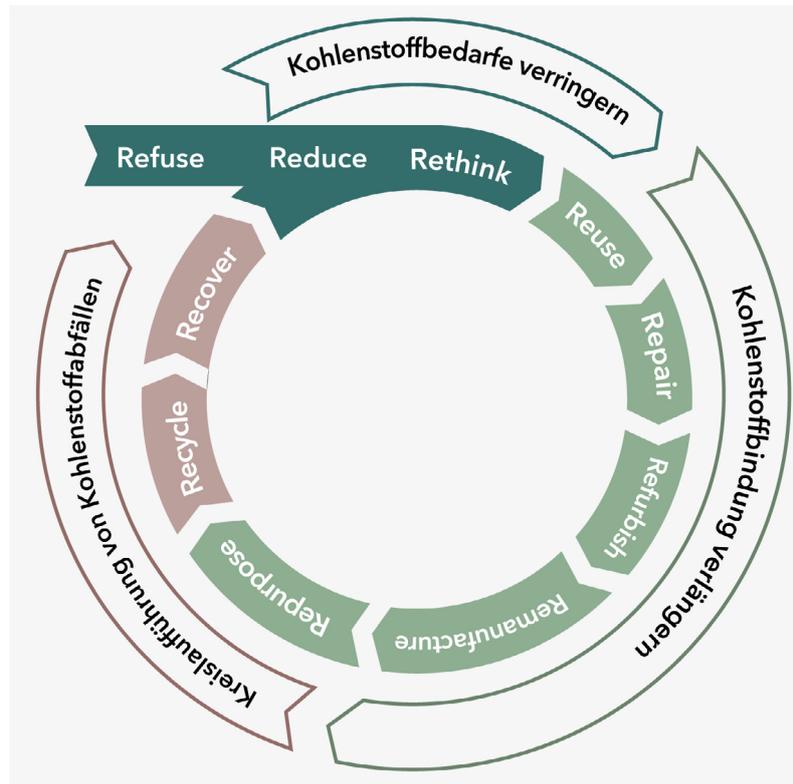


Abb. 5.3: R-Strategien und ihr Verhältnis zu zirkulären, nachhaltigen Kohlenstoffströmen (eigene Darstellung)

5.5.4 Geschäftsmodelle für zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft

Zirkuläre Geschäftsmodelle- eine Option für die zirkuläre Kohlenstoff

Eine Stärke des Konzeptes der Kreislaufwirtschaft ist es, dass es sich hierbei um ein Anliegen handelt, das sowohl ökologische als auch ökonomische Ziele verfolgt. Durch den effizienten Umgang mit Stoffströmen und der Inwertsetzung von Abfallströmen sollen Kostenvorteile maximiert und Umweltbelastungen minimiert werden. Dieses Postulat deckt sich jedoch häufig nicht mit linearen Wirtschaftsstrukturen, die über Jahrzehnte gewachsen sind. Zirkuläre Geschäftsmodelle sollen dabei unterstützen, Wege für etablierte und neue Unternehmen aufzuzeigen, wie mit Prinzipien der Kreislaufwirtschaft ein Business Case realisiert werden kann. Ausgehend von der Überlegung, dass auch Kohlenstoff bisher ein Stoffstrom war und ist, der dem linearen Weg des Take-Make-Dispose folgte, können bestehende und neue zirkuläre Geschäftsmodelle dabei unterstützen, Anknüpfungspunkte für einen ökonomisch effizienten Umgang mit Kohlenstoff aus unternehmerischer Perspektive zu identifizieren. Dies ist nicht nur für eine breite Skalierung der Kohlenstoffwirtschaft erforderlich, sondern auch, damit aus dem regulativ-politischen Konstrukt der Kohlenstoffwirtschaft eine resiliente Wirtschaftsstruktur erwächst.

5.5.5. Regionale Empfehlungen für das Mitteldeutsche Revier

Produkte der chemischen Industrie auf die R-Strategien ausrichten

Für das Mitteldeutsche Revier ergeben sich vor diesem Hintergrund Schlussfolgerungen, die sowohl allgemeiner als auch branchenspezifischer Ausrichtung sind. Für die chemische Industrie, die im Mitteldeutschen Revier eine hochrelevante Wirtschaftsstruktur darstellt, können zunächst allgemeine kreislaufwirtschaftliche Aussagen getroffen werden, die mit Blick auf die Reduktion des Kohlenstoffeinsatzes als Grundstoff sowie auf die Lebensdauer ihrer Produkte von Relevanz ist. So sei grundsätzlich zu konstatieren, dass in der chemischen Industrie aufgrund ihrer vorderen Position in der Wertschöpfungskette noch kaum Konzepte der Kreislaufwirtschaft Eingang gefunden haben (Wilts, 2023). Hier bedürfe es nämlich, neben der Umstellung auf nicht-fossile Rohstoffe, auch einer Veränderung der Geschäftsmodelle als solche, womit eine tiefgreifende Umstrukturierung verbunden ist.

Aktuell sind die Chemiebranche und ihre Geschäftsmodelle dadurch geprägt, kontinuierlich wachsende Mengen an Produkten auf den Markt zu bringen, während Konzepte des Recyclings nach der Nutzungsphase oder einer Verlängerung der Nutzungsphase eine nachgeschaltete Rolle haben (Wilts, 2023). Innerhalb der Chemiebranche ist man sich des endenden Geschäftsmodells zwar bewusst, doch gegenwärtig ist dieses nach wie vor hoch profitabel, weshalb bei der Transformation der Chemieindustrie die Herausforderung besteht, dass diese aus kurzfristigen Profit-Gründen in Länder mit weniger ambitionierten ökologischen Zielen abwandert (Wilts, 2023). Insbesondere Kunststoffe, als Schlüsselprodukt der Chemiebranche, verzeichnen weiterhin steigende Produktionsmengen mit einem zum großen Teil linearen Nutzungsverlauf, an dessen Ende oftmals bestenfalls die thermische Verwertung (R9: Recover) steht. Dabei sind viele Produkte aus Kunststoff gegenwärtig dadurch gekennzeichnet, dass sie einerseits für die einmalige Verwendung ausgelegt sind und andererseits eine Neuproduktion technisch wesentlich einfacher ist als das Recycling (Wilts, 2023).

Absehbar werden sich die Wertschöpfungsketten der chemischen Industrie wandeln. Wenn die Bereitstellung von Rohöl nicht mehr als Grundlage einer Kohlenstoffchemie genutzt werden kann, müssen andere Quellen erschlossen werden. Neben der Einfuhr biobasierter oder atmosphärisch basierter Kohlenwasserstoffe bietet sich hier die Nutzung des chemischen Recyclings an. Erste Beispiele wie bei Dow in Böhlen zeigen, dass die Chemieindustrie strategische Vorteile für die Errichtung und den Betrieb solcher Anlagen bietet. Eine Strategie zum Erhalt der Chemieindustrie in Mitteldeutschland sollte daher den Bau und Betrieb von Anlagen für chemisches Recycling – als Lückenschluss zwischen dem zu priorisierenden mechanischen Recycling und der thermischen Verwertung – als zentralen Bestandteil umfassen.

Aufgrund der engen Verknüpfung mit dem gesellschaftlichen Konsumverhalten braucht es jedoch, neben dem Design für Mehrweg und Rezyklierbarkeit, auch eine Verhaltensänderung seitens der Konsument*innen (Wilts, 2023). Um die Kohlenstoffintensität der Chemieindustrie zu reduzieren, bedarf es also neben der Substitution von fossilen Grundstoffen auch Nutzungskonzepte, die die Produkte der Chemieindustrie auf die verschiedenen R-Strategien ausrichten, wobei diese Neuausrichtung mit neuen Geschäftsmodellen kombiniert werden sollte, die durch die geeigneten politischen Rahmenbedingungen erleichtert und flankiert werden.

Mehr sanieren, weniger neu und wenn, dann zirkulär und nachwachsend bauen

Der Bausektor verbraucht große Mengen an Stahl, Glas, Aluminium und Beton sowie Zement und Kalk, die aus einer energieintensiven Produktion hervorgehen und zum Teil unvermeidbare CO₂-Emissionen bewirken (Braun et al., 2021). Indem die Neubauaktivität minimiert und die Wiederverwendung von Bauteilen maximiert wird, können damit auch beträchtliche Gewinne für eine nachhaltige Ausrichtung der Kohlenstoffwirtschaft erzielt werden. Angelehnt an die R-Strategien ist auch im Rahmen der „Bauwende“ zunächst darauf zu achten, die Nutzungsdauer von Gebäuden zu verlängern, indem diese eine Sanierung und Umnutzung erfahren. Falls es zum Neubau kommt, sollten zudem einerseits nachwachsende Rohstoffe verwendet werden, andererseits auf eine zirkuläre Bauweise geachtet werden. Das zirkuläre Bauen zeichnet sich dabei einerseits dadurch aus, dass möglichst viele Bauteile aus der Wiederverwendung (im Rahmen eines zirkulären Baustoffhandels) stammen, andererseits durch Baudesigns, die eine spätere Wiederverwendung von Bauteilen erleichtern. Hierbei können und sollten insbesondere nachwachsende Rohstoffe verwendet werden, bei denen zudem geprüft werden kann, inwiefern durch deren Einsatz potenzielle Negativemissionen entstehen. Da der Bausektor ein weit verzweigter Wirtschaftssektor und wichtiger Arbeitgeber ist, ist auch hierbei darauf zu achten, die Transformation des linearen Bausektors hin zur Zirkularität mit nachhaltig tragbaren Geschäftsmodellen zu kombinieren. Diese können beispielsweise an Leasing-Modelle, Reparatur, Wartung und Sanierung sowie alternative Bauweisen anknüpfen (Braun et al., 2021). Unterschiedliche Strategien und Maßnahmen eines zirkulären Bausektors sind in Abbildung 5.4 dargestellt.

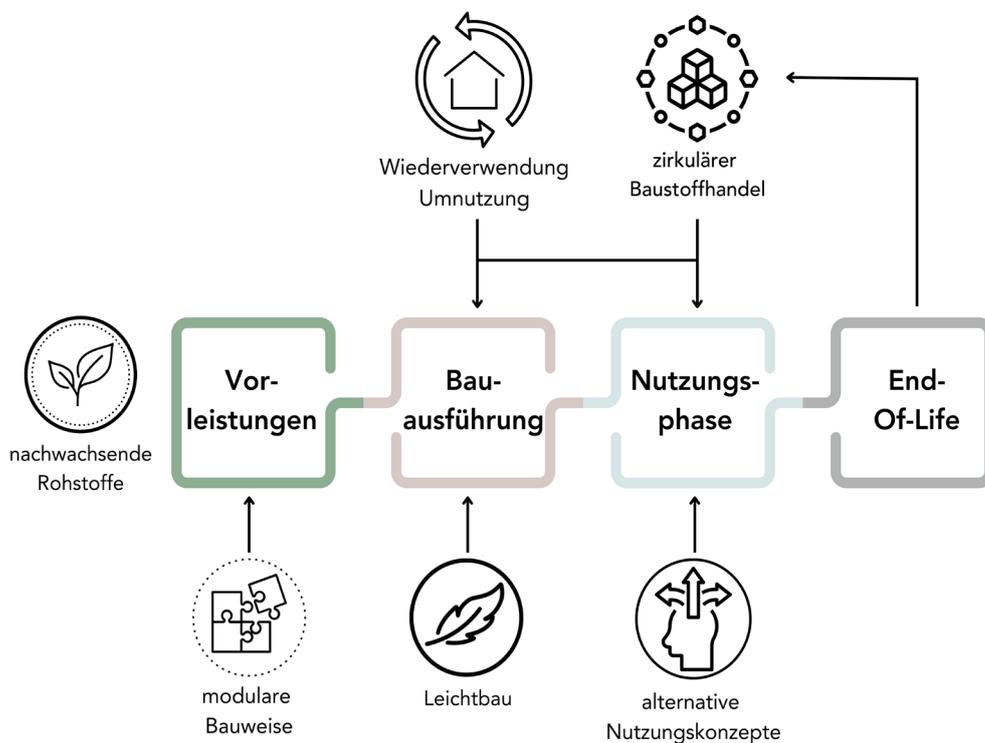


Abb.5.4: Strategien und Maßnahmen eines zirkulären Bausektors (eigene Darstellung nach von Braun et al. (2021))

Startup-Strategie für Kohlenstoff in der Kreislaufwirtschaft erarbeiten

Kohlenstoffe kommen in verarbeiteter Form und auf biogener Basis in einer Vielzahl von Strukturen, Verbindungen und Mengen vor. Das können unsortierte und mit Störstoffen vermischte Kunststoffabfälle oder auch Restbiomassen wie Stroh oder Straßenbegleitgrün sein. Dem stehen sehr unterschiedliche Bedarfe an Kohlenstoffen gegenüber, von Parkbänken bis zu hygienisch einwandfreien Medizinverpackungen und -produkten. Wenn Rohöl nicht mehr zur Verfügung steht, steigt die Nachfrage nach Alternativen, aber auch nach der Bereitstellung von Kohlenstoffqualitäten aus der Kreislaufwirtschaft. Aufgrund der Vielzahl der denkbaren Stoffströme wird es voraussichtlich Bedarf auch nach kleinteiligeren und innovativen Lösungen zur Nutzung des Kohlenstoffes aus einer Vielzahl von Quellen geben. Daher bietet sich dieses Zukunftsfeld für eine strategische Unterstützung von Start-ups und Universitätsausgründungen an. Diese Strategie kann insbesondere in Verbindung mit den Akteuren aus dem Mitteldeutschen Chemiedreieck ein Kristallisationspunkt für eine Technologie- und Unternehmensentwicklung im Rahmen der Kreislaufführung von Kohlenstoff werden.

Ideen und Vorschläge für Wertschöpfung suchen und sammeln

Die aktuelle Wertschöpfung der chemischen Industrie in Mitteldeutschland basiert auf der Umwandlung von Rohöl. Biobasierte oder Recyclinglösungen bieten aktuell noch zu wenig Pfade mit denen eine ähnlich hohe Wertschöpfung erzielt werden kann. Zusätzlich greifen einige der denkbaren politischen Instrumente zur Unterstützung der Wertschöpfung alternativer Pfade erst auf der Nutzungsseite, so dass es fraglich ist, ob die Grundstoffchemie davon profitieren würde. Daher wäre es sinnvoll, die Akteure entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Kohlenstoffchemie – von der Produktion über die Verarbeitung und den Verkauf bis zur Kreislaufführung – gemeinsam an einen Tisch zu bringen. Ziel sollte es sein, herauszufinden, welche politischen Instrumente und Optionen ihnen helfen könnten, den Übergang auf nicht-fossile Rohstoffe innerhalb der nächsten zehn Jahre so weit voranzutreiben, dass daraus eigenständige Geschäftsmodelle entstehen, die den Weg in die Klimaneutralität ebnen und zukunftsfähig gestalten. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist auch die Sensibilisierung für und Schaffung von umfassenden industriellen bzw. Unternehmenskooperationen auf Augenhöhe, die für einen ganzheitlichen zirkulären Wandel in der Region unerlässlich sind.

Monitoring und Stakeholder-Einbindung

Die Etablierung einer umfassenden zirkulären und nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft erfordert einen erweiterten Blick auf regionale und kohlenstoffintensive Produktions- und Konsummuster sowie Stoffströme. Dafür ist es erforderlich, analog zur Etablierung einer Kreislaufwirtschaft, die zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft als tiefgreifendes Anliegen zu erfassen und umzusetzen, und nicht nur als eine reine Angelegenheit der Abfallwirtschaft. Neben Haushalts- und Siedlungsabfällen sind daher verstärkt auch industrielle Stoffströme in Form von Rohstoffen für die Produktion sowie Gewerbeabfälle zu betrachten. Zwar existiert in Form der Regionalanalyse des Mitteldeutschen Reviers ein guter Überblick über die wirtschaftliche Struktur der Region, explizite Informationen und Zahlen über die (kohlenstoffintensiven) Stoffströme und (Sekundär-)Rohstoffbedarfe müssten jedoch kontinuierlich erfasst bzw. monitored werden. Hierfür ist ein enger Austausch mit den Industrien im Mitteldeutschen Revier erforderlich, insbesondere angesichts der Anforderung, Möglichkeiten der Inwertsetzung und Weiterverarbeitung (kohlenstoffintensiver) Abfallströme auszuloten und nachhaltig umzusetzen. Ein Stakeholder-Workshop (siehe Konzept im Anhang dieses Kapitels) kann hier einen ersten Ansatzpunkt bieten.

5.6 Zusammenfassung und Fazit

Die vorliegende explorative Analyse untersucht die konzeptionelle Verknüpfung von Kohlenstoffwirtschaft und Kreislaufwirtschaft und setzt einzelne Bezüge zum Mitteldeutschen Revier. In der bestehenden Literatur wird die zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft meist als Teil einer umfassenden Kreislaufwirtschaft betrachtet. CCU gilt dabei als wichtiges Element, um Kohlenstoffe aus nachhaltigen Quellen zu gewinnen und in Stoffkreisläufe zurückzuführen. Die Etablierung einer nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft erfordert jedoch nicht nur technologische und regulatorische Maßnahmen, sondern auch ökonomische und sozio-kulturelle Anpassungen. Verhaltensänderungen der Konsument*innen spielen eine entscheidende Rolle für vollständig geschlossene Kohlenstoffkreisläufe. Ein wichtiger Aspekt ist die Inwertsetzung von Kohlenstoff-Abfallströmen, die unter anderem durch Fortschritte in der CCU- und CCS-Technologie, die Ausweitung von CO₂-Märkten und politische Regulierungen zur Defossilisierung ermöglicht wird. CCS wird jedoch in Bezug auf die Verknüpfung von Kohlenstoff- und Kreislaufwirtschaft in der Literatur kontrovers diskutiert. Während einige es als notwendige Säule einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft betrachten, sehen andere es als unvereinbar mit den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft.

Ausgehend vom Stand der Forschung wurden die sogenannten R-Strategien der Kreislaufwirtschaft genutzt, um die Grundlagen und Bedingungen einer nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft zu diskutieren. Hierfür wurden drei grundlegende Ansätze herangezogen. Der Ansatz „Kohlenstoffbedarfe verringern“ orientiert sich an den am höchsten priorisierten R-Strategien (R0 - R2). In Bezug auf das Mitteldeutsche Revier sind die Abkehr von fossilen Brennstoffen in der Energieerzeugung und die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen zentrale Ansätze. Die Transformation energieintensiver Industrien wie der Chemie-, Kunststoff- und Metallindustrie bietet hierbei ein großes Potential. Der Ansatz „Kohlenstoffbindung verlängern“ – angelehnt an den mittleren R-Strategien R3 - R7 – zielt auf die Fokussierung der regionalen Industrie auf langlebige Produkte und Komponenten sowie nutzungsorientierte Geschäftsmodelle. Dies bezieht sich in Bezug auf das Mitteldeutsche Revier insbesondere auf die Kunststoffindustrie und Bauwirtschaft, die so gebundenen Kohlenstoff länger im Nutzungskreislauf halten können. Der dritte Ansatz „Kreislaufrückführung von Kohlenstoffabfällen“, der sich insbesondere an den unteren R-Strategien R8 und R9 orientiert, kann im Kontext des Mitteldeutschen Reviers zum Beispiel auf die verbesserte Sammlung, Sortierung und Verwertung von Kunststoffabfällen sowie den effizienten Betrieb von Müllheizkraftwerken bezogen werden. Die Entwicklung und Umsetzung neuer Geschäftsmodelle, die auf Prinzipien der Kreislaufwirtschaft basieren, ist entscheidend für die Skalierung der Kohlenstoffwirtschaft und die Schaffung einer resilienten Wirtschaftsstruktur.

Branchenspezifische Ansatzpunkte in Bezug auf das Mitteldeutsche Revier beziehen sich unter anderem auf die chemische Industrie. Die Umstellung auf nicht-fossile Rohstoffe, die Entwicklung von Mehrweg- und Recyclingkonzepten sowie die Anpassung der Geschäftsmodelle sind notwendig, um die Kohlenstoffintensität im Mitteldeutschen Revier zu reduzieren. Eine weitere relevante Branche für die nachhaltige, zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft ist die Bauwirtschaft. Die Minimierung von Neubauaktivitäten, die Maximierung der Wiederverwendung von Bauteilen, die Verwendung nachwachsender Rohstoffe und die Etablierung zirkulärer Bauweisen sind dabei zentrale Strategien. Weitere Ansatzpunkte bieten auch die Entwicklung einer Startup-Strategie für zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft, die Identifizierung von Wertschöpfungspfaden und Geschäftsmodellinnovationen sowie das Monitoring kohlenstoffintensiver Stoffströme. Zusammenfassend bieten die Parallelen und Anknüp-

fungspunkte zwischen Kreislauf- und Kohlenstoffwirtschaft zahlreiche Transferpotentiale und sollten für die Transformation des Mitteldeutschen Reviers genutzt werden.

Die Etablierung einer holistischen Kreislaufwirtschaft ist kein rein technologisches und ökonomisches Anliegen, das sich mit der Inwertsetzung von Abfallströmen befasst, sondern auch kulturelle und soziale Praktiken betrifft. Eine holistisch implementierte Kreislaufwirtschaft ermöglicht damit nicht nur einen effizienten Umgang mit Ressourcen innerhalb der Strukturen, wie wir sie im Status Quo kennen, sondern die Strukturen selbst und mit ihnen der Umgang mit Ressourcen verändern sich. Davon ausgehend sind Impulse in verschiedenste industrielle und wirtschaftliche Bereiche zu erwarten, deren Konsequenzen nicht vollständig abzusehen sind. Kommt es im Sinne der Kreislaufwirtschaft beispielsweise zu einem gesellschaftlich und kulturell fundamental anderem Verständnis und Umgang mit Gebrauchsgütern jeglicher Art, unter anderem indem deren Nutzungsintensität erhöht und Lebensdauer verlängert wird, hat dies sowohl Auswirkungen auf die Gesamtmenge der benötigten Ressourcen und anfallenden Abfallströme, als auch auf die wirtschaftlichen Strukturen, in die diese Gebrauchsgüter eingebettet sind.

Skaliert ergeben sich hieraus weitreichende Konsequenzen für die Kohlenstofflastigkeit der Wirtschaft im Allgemeinen und über den genuinen Interessenbereich der Kohlenstoffwirtschaft hinaus. Neben technologischen, infrastrukturellen, politischen und wirtschaftlichen Anliegen und Herausforderungen der Abscheidung, Nutzbarmachung und des Transports von Kohlenstoffen und der Substitution von diesem als Grundstoff, ist die umfassende Etablierung einer Kreislaufwirtschaft daher ein elementarer Bestandteil eines holistischen Carbon Managements, das auf eine vollständige Defossilisierung und weitestgehende Dekarbonisierung der Industrie abzielt.

5.7 Literatur

Alsarhan, L. M., Alayyar, A. S., Alqahtani, N. B., & Khdary, N. H. (2021). Circular Carbon Economy (CCE): A Way to Invest CO₂ and Protect the Environment, a Review. *Sustainability*, 13(21), 11625. <https://doi.org/10.3390/su132111625>

Appolloni, A., Centi, G., & Yang, N. (2023). Promoting carbon circularity for a sustainable and resilience fashion industry. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 39, 100719. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100719>

BMUV. (2024). *Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/nationale_kreislaufwirtschaftsstrategie_bf.pdf

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2024a): *Eckpunkte der Bundesregierung für eine Carbon Management-Strategie*. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/eckpunkte-der-bundesregierung-fuer-eine-carbon-management-strategie.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (abgerufen am 07.11.2024)

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2024c): *Langfriststrategie Negativemissionen zum Umgang mit unvermeidbaren Restemissionen (LNe) - Eckpunkte* -. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/240226-eckpunkte-negativemissionen.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (abgerufen am 07.11.2024)

Braun, N., Hopfensack, L., Fecke, M., & Wilts, H. (2021). *Chancen und Risiken im Gebäudesektor für die Umsetzung einer klimaneutralen und ressourceneffizienten zirkulären Wirtschaft: Vorstudie im Rahmen des Verbundvorhabens Circular Economy als Innovationsmotor für eine klimaneutrale und ressourceneffiziente Wirtschaft (CEWI)* (S. 6352 KB, 33 pages) [Application/pdf]. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. <https://doi.org/10.48506/OPUS-7851>

Centi, G., Liu, Y., & Perathoner, S. (2024). Catalysis for Carbon-Circularity: Emerging Concepts and Role of Inorganic Chemistry. *ChemSusChem*, 17(21), e202400843. <https://doi.org/10.1002/cssc.202400843>

Espert, V., & Zeiss, C. (2025). *Übersicht einer zukünftigen Kohlenstoffwirtschaft auf Basis eines Klimaneutralitätszenarios*.

Europäische Kommission. (2020). *A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN>

Europäische Kommission. (2021, Juli 14). *Der europäische Grüne Deal*. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de

Frieden, F. (2021). *Carbon Capture and Utilization – A new building block for Circular Economy?* [Application/pdf]. <https://doi.org/10.17879/06039562454>

Koytsoumpa, E. I., Magiri – Skouloudi, D., Karellas, S., & Kakaras, E. (2021). Bioenergy with carbon capture and utilization: A review on the potential deployment towards a European circular bioeconomy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152, 111641. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111641>

Lausselet, C., Cherubini, F., Oreggioni, G. D., Del Alamo Serrano, G., Becidan, M., Hu, X., Rørstad, P. Kr., & Strømman, A. H. (2017). Norwegian Waste-to-Energy: Climate change, circular economy and carbon capture and storage. *Resources, Conservation and Recycling*, 126, 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.rescon-rec.2017.07.025>

Newman, A. J. K., Dowson, G. R. M., Platt, E. G., Handford-Styring, H. J., & Styring, P. (2023). Custodians of carbon: Creating a circular carbon economy. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1124072. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1124072>

Pires Da Mata Costa, L., Micheline Vaz De Miranda, D., Couto De Oliveira, A. C., Falcon, L., Stella Silva Pimenta, M., Guilherme Bessa, I., Juarez Wouters, S., Andrade, M. H. S., & Pinto, J. C. (2021). Capture and Reuse of Carbon Dioxide (CO₂) for a Plastics Circular Economy: A Review. *Processes*, 9(5), 759. <https://doi.org/10.3390/pr9050759>

Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2016). *Circular Economy: Measuring innovation in the product chain*. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2016-circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains-2544.pdf>

Sankaran, K. (2023). Turning black to green: Circular economy of industrial carbon emissions. *Energy for Sustainable Development*, 74, 463–470. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.05.003>

SRU. (2024). *Renaturierung: Biodiversität stärken, Flächen zukunftsfähig bewirtschaften*. Geschäftsstelle des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU). https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2024_04_Renaturierung.html

Tcvetkov, P., Cherepovitsyn, A., & Fedoseev, S. (2019). The Changing Role of CO₂ in the Transition to a Circular Economy: Review of Carbon Sequestration Projects. *Sustainability*, 11(20), 5834. <https://doi.org/10.3390/su11205834>

Wagner, N. (2023). Wasserstoff aus Afrika: Hoffnung für wen? | Blätter für deutsche und internationale Politik. *Blätter für deutsche und internationale Politik*, 23(10). <https://www.blaetter.de/ausgabe/2023/oktober/wasserstoff-aus-afrika-hoffnung-fuer-wen>

Wilts, H. (2023). *Wege aus der Sackgasse der Linearität: Chemische Produktion als Kreislaufwirtschaft*. 171, 84–89. https://doi.org/10.8110_Wilts.pdf

Zeiss, C. (2025a). *Einordnung von Kohlenstoffströmen hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit und deren Auswirkungen auf Wertschöpfungspotentiale*.

Anhang 7: Workshop-Konzept Zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft

1 Hintergrund

Im Rahmen des Projekts „Strukturwandel: Kohlenstoffbasierte Industrien in Mitteldeutschland auf dem Weg in neue Märkte – Wirtschaftliche Ausgangslage und Entwicklungspotentiale“ wurde eine explorative Analyse zu Perspektiven der Kreislaufwirtschaft im Kontext einer Kohlenstoffwirtschaft – mit besonderem Fokus auf das Mitteldeutsche Revier – durchgeführt. Hierbei wurde der Stand der Forschung zur Verknüpfung von Kreislauf- und der Kohlenstoffwirtschaft analysiert und in den Kontext des Mitteldeutschen Reviers gesetzt, um Grundlagen für eine zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft (ZKW) in der Region herauszuarbeiten. Um den zirkulären Wandel in Richtung einer nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft konkret voranzutreiben, müssen in einem nächsten Schritt die Akteur*innen vor Ort hierfür sensibilisiert und in Bezug auf die strategische Gestaltung und Umsetzung im Mitteldeutschen Revier eingebunden werden. Der hier skizzierte Workshop soll hierfür einen ersten Ansatzpunkt bieten.

2 Ziele

Der vorgeschlagene Stakeholder-Workshop verfolgt vorrangig vier Ziele:
Sensibilisierung und Wissensvermittlung in Bezug auf eine nachhaltige ZKW im Mitteldeutschen Revier:

- Offenlegung und Diskussion von Herausforderungen und Chancen einer ZKW – allgemein und in Bezug auf die Region
- Erarbeitung von konkreten Ansatzpunkten und Lösungen für die Umsetzung einer ZKW im Mitteldeutschen Revier
- Vernetzung relevanter Stakeholder zur Thematik, um Erfahrungen und Wissen auszutauschen und konkrete Kooperationen anzustoßen

3 Akteur*innen

Für eine ganzheitliche und inklusive bzw. partizipative Strategieentwicklung und Umsetzung einer ZKW im Revier sollten nach Möglichkeit folgende Akteur*innen am Stakeholder-Workshop teilnehmen:

- Beispielhafte Unternehmensvertreter*innen der für eine Kohlenstoffwirtschaft relevanten Branchen
 - Chemieindustrie
 - Stadtwerke und Abfallversorger
 - Kunststoffverarbeiter
 - Bauwirtschaft
 - Zement- und Kalkindustrie
 - Bioökonomie
 - Land- und Forstwirtschaft
- Thematisch relevante Forschungsakteur*innen aus der Region
- Regionale Intermediäre, z.B. Vertreter*innen des Forum Rathenau e.V.
- Vertreter*innen von Verbänden, IHKs und weiteren Netzwerken, z.B. für Startups
- Vertreter*innen von relevanten Nichtregierungsorganisationen und zivilgesellschaftlichen Initiativen

Eine Übersicht der konkret einzubindenden Stakeholder lässt sich insbesondere aus den Ergebnissen von Kapitel 1 des Projekts ableiten. Für einen konstruktiven Workshop sollte die Teilnehmerzahl

nach Möglichkeit zwischen 20 und 50 Personen liegen. Die Workshop-Größe ist jedoch auch von den verfügbaren Mitteln, den Räumlichkeiten und personellen Kapazitäten in Bezug auf Moderation und Co-Moderation für Kleingruppenarbeit abhängig.

4 Leitfragen

In Bezug auf die oben dargestellten Ziele lassen sich drei Themenblöcke bzw. Leitfragen für den Workshop formulieren, die im folgenden Abschnitt in einen Agendavorschlag überführt werden. Das vierte Ziel ist übergeordneter Natur und wird in allen drei Themenblöcken bzw. entlang des gesamten Stakeholder-Workshops adressiert.

Themenblock 1: Grundlagen einer nachhaltigen ZKW im Mitteldeutschen Revier

- Leitfrage: Welche Aspekte einer Kreislauf- oder einer Kohlenstoffwirtschaft sind für Ihre Organisation/Ihr Unternehmen relevant?
- Fokus: Vermittlung des Stands der Forschung zu einer ZKW und Verknüpfung mit vorhandenen Wissensständen und Erfahrungen der Teilnehmenden

Themenblock 2: Herausforderungen und Chancen einer nachhaltigen ZKW im Mitteldeutschen Revier

- Leitfrage: Welche Herausforderungen und Chancen existieren für Sie in Bezug auf die strategische Entwicklung und Umsetzung einer ZKW?
- Fokus: Darstellung und Ergänzung allgemeiner und Standort- bzw. Akteurspezifischer Herausforderungen und Chancen einer ZKW entlang der drei Ansätze „Kohlenstoffbedarfe verringern“, „Kohlenstoffbindung verlängern“, „Kreislaufführung von Kohlenstoffabfällen“

Themenblock 3: Ansatzpunkte und Lösungen für die Adressierung der Herausforderungen und Chancen sowie Umsetzung einer ZKW im Mitteldeutschen Revier

- Leitfrage: Mit welchen konkreten Lösungen kann eine ZKW vor Ort umgesetzt werden?
- Fokus: Sammlung und Entwicklung konkreter Lösungsansätze (Produkte, Stoffströme/-kreisläufe, Geschäftsmodelle, Kooperationen) entlang der drei Ansätze „Kohlenstoffbedarfe verringern“, „Kohlenstoffbindung verlängern“, „Kreislaufführung von Kohlenstoffabfällen“

5 Agendavorschlag

Agendapunkt	Ziel, Inhalt, Möglicher Ablauf
Ankommen & Begrüßung	Inhalt: Grußworte durch Veranstalter*innen, Moderator*in und ggf. weitere relevante Akteur*innen Evtl. Grußwort durch Staatssekretär*in, um die politische Verankerung des Themas zu verdeutlichen
Impuls: Hintergrund und Zielsetzung	Ziel: Rahmensetzung und Vermittlung der Workshop-Ziele Inhalt: Hintergründe und Kontext der Thematik sowie Ziele der Veranstaltung Möglicher Ablauf: Impulsvortrag (Präsentation) durch Moderator*in oder andere*n relevante*n Akteur*in

Agendapunkt	Ziel, Inhalt, Möglicher Ablauf
Interaktive Runde: Vorstellung der Beteiligten	<p>Ziel: Kennenlernen und Übersicht der Teilnehmenden</p> <p>Möglicher Ablauf: Kurze, moderierte Vorstellungsrunde mit Motivation/Zielsetzung für den Workshop</p>
Themenblock 1: Grundlagen	<p>Ziel: Schaffung und Vermittlung der Grundlagen für eine nachhaltige ZKW im Mitteldeutschen Revier</p> <p>Inhalt: Stand der Forschung zu ZKW (theoretische Grundlagen) und regionale bzw. individuelle Rahmenbedingungen/Anforderungen (praktische Grundlagen)</p> <p>Möglicher Ablauf:</p> <p>Präsentation des Stands der Forschung durch Moderator*in oder Expert*in</p> <p>Moderierte Diskussion im Plenum zur Klärung von Fragen und Ergänzung des Wissensstands</p> <p>Kurze Zusammenfassung der Diskussion durch Moderator*in oder Expert*in</p>
Impulse: Beispiele für ZKW aus der Praxis	<p>Ziel: Aktive Einbindungen von Akteur*innen, Präsentation von konkreten Beispielen</p> <p>Inhalt: Beispielhafte Präsentation (wenige Minuten) von zukunftssträchtigen Lösungen von Unternehmen im Bereich ZKW, Herausforderung und Lösungsansatz</p> <p>Möglicher Ablauf:</p> <p>Kurzimpuls Unternehmen 1</p> <p>Kurzimpuls Unternehmen 2</p> <p>Kurzimpuls Unternehmen 3</p>
Themenblock 2: Herausforderungen und Chancen	<p>Ziel: Darstellung und Ergänzung von Herausforderungen und Chancen einer ZKW im Mitteldeutschen Revier</p> <p>Inhalt: Allgemeine und Standort- bzw. Akteurspezifische Herausforderungen und Chancen einer ZKW</p> <p>Möglicher Ablauf:</p> <p>Kurzer Impulsvortrag zu aus der Theorie abgeleiteten Herausforderungen und Chancen durch Moderator*in oder Expert*in</p> <p>World-Café zur Sammlung/Ergänzung/Diskussion von Herausforderungen und Chancen, strukturiert nach den drei Ansätzen „Kohlenstoffbedarfe verringern“, „Kohlenstoffbindung verlängern“, „Kreislaufführung von Kohlenstoffabfällen“ – 3 oder 6 Tische (je nach Teilnehmendenzahl)</p> <p>Vorstellung der Diskussionsergebnisse durch Gruppenmoderator*innen</p> <p>Hinweis: es wird neben der Hauptmoderation eine Gruppenmoderation pro Tisch benötigt</p>

Agendapunkt	Ziel, Inhalt, Möglicher Ablauf
Themenblock 3: Ansatzpunkte und Lösungen	<p>Ziel: Sammlung und (Weiter-)Entwicklung von Lösungsansätzen in Bezug auf die Herausforderungen/Chancen bzw. Umsetzung einer ZKW im Mitteldeutschen Revier</p> <p>Inhalt: Konkrete Lösungsansätze (Produkte, Stoffströme/-kreisläufe, Geschäftsmodelle, Kooperationen)</p> <p>Möglicher Ablauf:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kurzer Impulsvortrag zu möglichen Ansatzpunkten entlang der drei Ansätze „Kohlenstoffbedarfe verringern“, „Kohlenstoffbindung verlängern“, „Kreislaufführung von Kohlenstoffabfällen“ bzw. der R-Strategien • Moderierte Kleingruppenarbeit zur kooperativen Entwicklung konkreter, regionalspezifischer Lösungsansätze – mindestens 3 Gruppen (1 pro Ansatz, s.o.) • Vorstellung der Arbeitsergebnisse durch Gruppenmoderator*innen oder Teilnehmende der Kleingruppen • <i>Hinweis: es wird neben der Hauptmoderation eine Gruppenmoderation pro Kleingruppe benötigt</i>
Ausblick und Abschluss	<p>Ziel: Zusammenfassung und Abschluss der Veranstaltung</p> <p>Inhalt: Kernergebnisse des Workshops, nächste Schritte und Feedback der Teilnehmenden</p> <p>Möglicher Ablauf:</p> <p>Zusammenfassung des Tages und der Kernergebnisse durch Moderator*in</p> <p>Vorstellung der nächsten Schritte und ggf. Festhalten von Verantwortlichkeiten, Zielen und Deadlines</p> <p>Moderierte Feedback-Runde inkl. Dokumentation</p>
Verabschiedung und Ausklang	<p>Inhalt: Verabschiedungsworte durch Veranstalter*innen, Moderator*in und ggf. weitere relevante Akteur*innen sowie Möglichkeit zum Networking</p>

Die exakte Dauer der einzelnen Agenda-Punkte, die Gesamtdauer des Workshops, notwendige Pausen (inkl. Networking-Möglichkeiten) sowie die konkret eingesetzten Materialien und Methoden sind in Abhängigkeit der gewünschten Schwerpunkte sowie den konkreten Rahmenbedingungen (Teilnehmenden-Anzahl, ggf. Gruppenanzahl und -größe für die Arbeitsphasen, Räumlichkeiten, Moderation, Co-Moderation etc.) festzulegen. Die Umsetzung des gesamten Workshop-Konzept erfordert aber voraussichtlich mindestens einen vollen Workshop-Tag. Eine Aufteilung auf mehrere kürzere/kleinere Veranstaltungen oder einen mehrtägigen Workshop ist möglich.

TEILBERICHT VI



Die petrochemische Industrie im Mitteldeutschen Chemiedreieck

6.1 Einführung: Petrochemische Industrie

Die Herstellung von petrochemischen Grundstoffen ist für mindestens 15 % der Nachfrage nach Mineralölprodukten in Deutschland verantwortlich (BAFA, 2021). Der Großteil davon fließt in die Produktion sogenannter High-Value Chemicals (HVC), die als Plattformchemikalien vor allem für die Herstellung von Polymeren dienen. Letztere sind für die Industrie von größter Bedeutung: Von den 54 Milliarden Euro Umsatz, die die deutsche petrochemische Industrie im Jahr 2023 generierte, entfiel fast die Hälfte allein auf das Marktsegment der Polymere (VCI, 2024). Mit einem Anteil von 38 % am Umsatz der europäischen Petrochemie und dem weltweit dritten Platz sind die deutschen Produktionsstandorte von herausragender ökonomischer Relevanz (VCI, 2023; Cefic, 2023). Mit diesen Aktivitäten einher gehen jedoch CO₂-Emissionen von über 50 Millionen Tonnen pro Jahr – und noch erheblich mehr, wenn auch Scope-3-Emissionen berücksichtigt werden (Cefic, 2021; FutureCamp & DECHEMA, 2019).

Eine Transformation der heute auf fossilen Rohstoffen basierenden petrochemischen Industrie hin zu einem auf erneuerbaren Rohstoffen basierenden zirkulären System ist daher von größter Bedeutung für eine klimaneutrale Wirtschaft. Diese Umstellung ist jedoch mit Besonderheiten verbunden, die über die Herausforderungen in anderen Sektoren hinausgehen: Die Produktion von Petrochemikalien nutzt fossile Rohstoffe nicht nur zu energetischen Zwecken, sondern auch als Rohstoff für eine Vielzahl von Prozessen. Darüber hinaus findet die Herstellung von HVC und deren Weiterverarbeitung zu Polymeren größtenteils in hochverdichteten Chemieclustern statt, die durch tief integrierte mehrstufige Produktionswege und heterogene Produktportfolios gekennzeichnet sind. Da jedes dieser Industriecluster einzigartig ist, wird es hier keinen einheitlichen Pfad in Richtung Klimaneutralität geben. Vielmehr müssen die lokalen und historisch gewachsenen Standortfaktoren berücksichtigt werden, damit ein Wandel erfolgreich umgesetzt werden kann. Ein Verständnis dieses Systems und der jeweiligen Merkmale seiner einzelnen Komponenten ist daher eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Transformation hin zur Klimaneutralität. Vor diesem Hintergrund beleuchtet das vorliegende Papier die heutige Struktur der petrochemischen Industrie in Mitteldeutschland, welche im sogenannten Mitteldeutschen Chemiedreieck ein Cluster aus Produktionsstandorten in Sachsen-Anhalt, Sachsen und Brandenburg bilden. Das Papier zielt darauf ab, die heutige Struktur des Clusters zu analysieren, ihre stofflichen Synergiebeziehungen abzubilden und ihre Einbettung in das umgebende nordwesteuropäische Produktionssystem darzustellen. Der Fokus der Arbeit liegt auf dem relevanten Teilbereich der Polymer-Wertschöpfungskette.

Hierfür wird zunächst das petrochemische System in Deutschland und Nordwesteuropa überblicksartig charakterisiert und mithilfe von Kartenmaterial illustriert. Im Zuge dessen wird das Mitteldeutsche Chemiedreieck regional verortet und seine infrastrukturelle Einbettung in das umgebende System erläutert. Anschließend wird das Cluster näher beleuchtet. Hierzu gehören seine Entwicklungsgeschichte, ökonomische Kennzahlen, ortsansässige Unternehmen mit ihren jeweiligen Produktionsschwerpunkten sowie ein Überblick zu bereits bestehenden Transformationsinitiativen zur Umstellung auf klimafreundliche Verfahren und Rohstoffen. Mithilfe von Kartendarstellungen wird die Zusammensetzung des Clusters sowie seiner infrastrukturellen Vernetzung erläutert. Anschließend erfolgt eine Analyse des regionalen petrochemischen Produktionssystems auf Basis von eigenen Modellrechnungen, welche Produktionsvolumina und Prozessverflechtungen aufzeigen. Daran anknüpfend wird der heutige Bedarf an Energie- und Rohstoffen für die Produktion bilanziert sowie Einblicke in die Versorgungsstrukturen innerhalb des Clusters gegeben. Abschließend werden die Anlagenkapazitäten vor Ort für das Cluster aufgelistet.

6.2 Studienauftrag für den Teilbericht VI

Die Transformation der Chemieindustrie wird eine zentrale Rolle in der Veränderung von kohlenstoffbasierten Wertschöpfungsketten spielen. Das ist aufgrund der regionalen Verankerung, der Vielzahl gut bezahlter Arbeitsplätze und der heute noch umfangreichen Nutzung von fossilen Rohstoffen ein zentraler Aspekt der Kohlenstoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier. Das Wuppertal Institut erstellt eine Kurzanalyse des mitteldeutschen Chemiedreiecks mit einer Darstellung der heutigen Infrastruktur der Petrochemie, ihrer Verflechtung mit der regionalen Raffinerien-Landschaft sowie zentraler relevanter Stoffströme für die Polymer-Produktion als Grundlage für weitere Betrachtungen.

6.3 Methodik und Systemgrenzen

Die zentrale Daten- und Ergebnisgrundlage für das vorliegende Papier entstammen dem am Wuppertal Institut durchgeführten Forschungsprojekt GreenFeed, welches Szenarien für eine defossile Polymerindustrie in Europa und Deutschland entwickelt sowie Transformationspfade für einzelne Regionen diskutiert. Die bestehenden Erkenntnisse werden in diesem Bericht für das Projekt „Strukturwandel – Kohlenstoffbasierte Industrien in Mitteldeutschland auf dem Weg in neue Märkte“ kondensiert, teilweise aktualisiert und durch neue Recherchen ergänzt.

Bei der Analyse kamen die folgenden Methoden und Tools zum Einsatz:

- *Desk Research* in Onlinemedien, wissenschaftlichen Publikationen und Internetauftritten von Unternehmen sowie Experten- und Stakeholderbefragung
- *Infrastrukturanalyse und Kartenerstellung* mithilfe von GIS-Daten
- *Datenbankauswertung* mit Wertschöpfungskettenanalyse mithilfe einer WI-internen Industriedatenbank
- *Modellrechnung* mithilfe des WI-internen Industriemodells „WISEE EDM-i“. Dieses Modell wird am Wuppertal Institut zur Erstellung von Szenarien eingesetzt und kommt auch im Projekt GreenFeed zu diesem Zweck in anderen Arbeitspaketen zur Anwendung. Mit dem Modell lässt sich ein kostenoptimiertes räumlich differenziertes Produktionssystem modellieren, wie es beispielsweise auch im Rahmen von operations research üblich ist. Im Rahmen der vorliegenden Analyse wurde untersucht, mit welchem Einsatz an heute bestehenden Produktionsanlagen in Europa ein vorgegebenes Produkt-Portfolio am effizientesten erstellt werden kann. Dabei wurden neben Hafenterminals auch die Raffinerien als Feedstock-Lieferanten berücksichtigt und die verschiedenen Feedstocks mit heutigen Marktpreisen bewertet. Bei der Optimierung verteilt das Modell die Produktion simultan sowohl auf verschiedene Technologien als auch auf einzelne Standorte. Alle im Modell berücksichtigten Feedstocks, Plattform- und Zwischenprodukte können zwischen Standorten mit entsprechenden Transportkosten ausgetauscht werden, wobei Pipelines die Transportkosten sehr stark senken und damit den Austausch erleichtern. Im Hinblick auf die Validität der Ergebnisse gibt es Einschränkungen: Die Ergebnisse zeigen einen idealtypischen Zustand auf Basis eines synthetischen Jahres, der nicht vollständig einem Zustand entspricht, wie er sich aus statistisch verfügbaren Produktions- und Handelsdaten rekonstruieren lässt, diesem jedoch nahekommt. Des Weiteren können weder unternehmensinterne Netzwerke noch Polymer-Exporte nach außerhalb der EU27+3 abgebildet werden.
- *Prozessflussanalyse* mithilfe von Sankey-Diagrammen
- *Energie-, Feedstock- und Kohlenstoffbilanzierung* mithilfe von Modellrechnungen (WISEE EDM-i)

Der Fokus der Arbeit liegt auf der Polymer-Wertschöpfungskette und bildet somit nur einen Teilbereich der chemischen Industrie in Mitteldeutschland ab. Der Teilbericht wurde im Zeitraum zwischen Mai 2024 und Februar 2025 erstellt.

6.4 Das petrochemische System in Nordwesteuropa

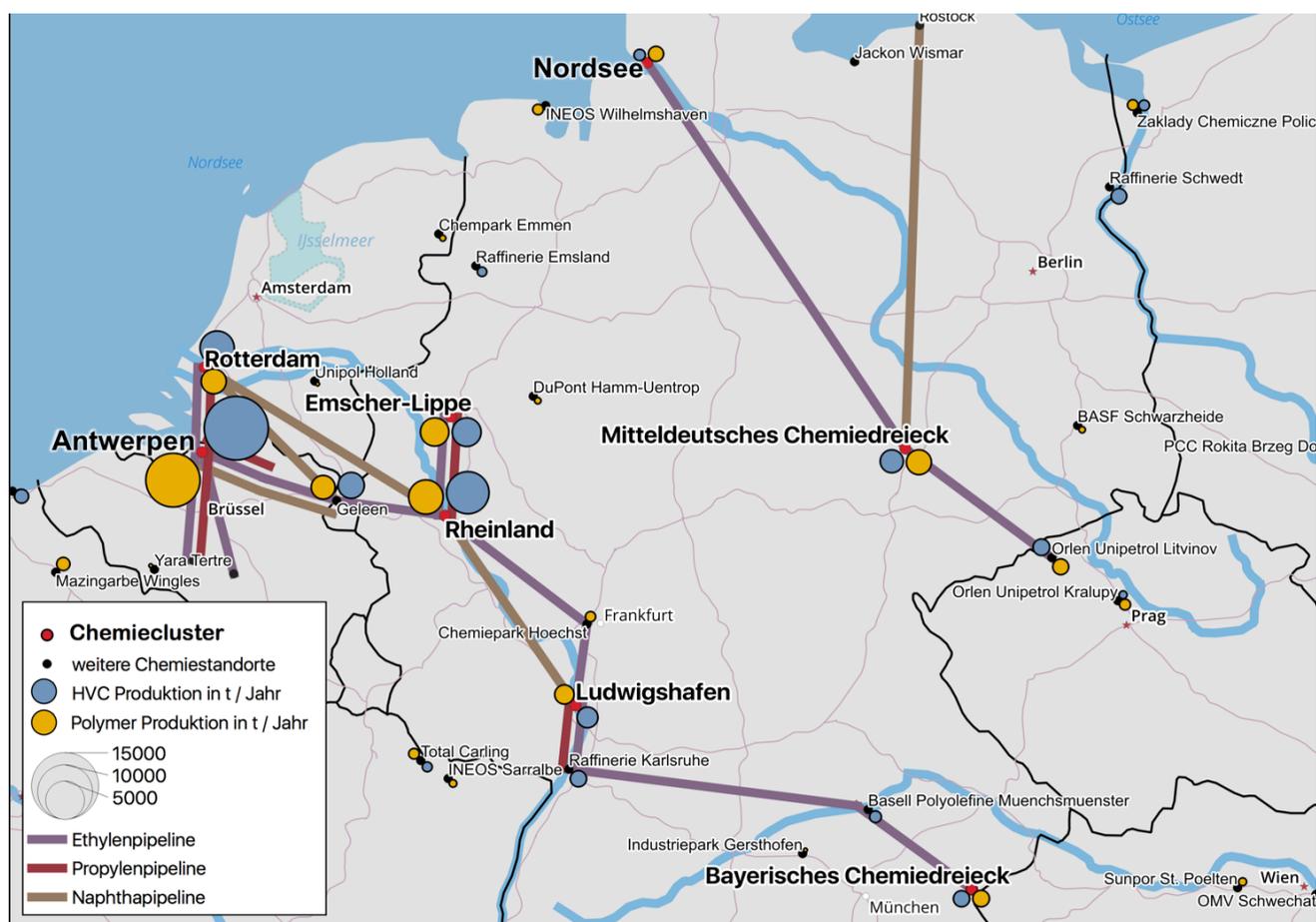


Abb. 6.1 Überblick über alle relevanten petrochemischen Standorte und Erdölraffinerien in und um Deutschland, inklusive Produktionsvolumen an High-Value-Chemicals und Polymeren sowie infrastruktureller Verflechtungen, Quelle: Scholz et al. (2023).

Steamcracker stehen im Zentrum der petrochemischen Produktion in Deutschland und Europa. Typischerweise befinden sie sich in unmittelbarer Nähe von Raffineriekomplexen, die Naphtha und Flüssiggas (LPG) aus Rohöl destillieren und somit den Feedstock für den Betrieb der Steamcracker liefern. Die Spaltanlagen produzieren in erster Linie High-Value Chemicals (HVC), zu denen die Olefine Ethylen, Propylen und Butadien sowie die Aromaten Toluol, Benzol und Xylol gehören. Diese HVC wiederum bilden die petrochemische Basis für verschiedenste Prozesse und Produktgruppen, insbesondere aber für die Herstellung von Polymeren. Abbildung 6.1 zeigt alle relevanten petrochemischen Standorte in Deutschland und angrenzenden Regionen. Sie verdeutlicht, dass die Produktion von HVC und deren Weiterverarbeitung zu Polymeren größtenteils in Regionen mit einer besonders hohen Dichte einzelner Standorte stattfindet, die sich zu insgesamt acht Clustern zusammenfassen lassen:

- **Bayerisches Chemiedreieck:** Bestehend aus einer Ansammlung von Chemieunternehmen im südöstlichen Teil von Bayern, wovon insbesondere die Werke in den beiden Chemieparks Burg-hausen und Burgkirchen/Gendorf für die Petrochemie und Polymere relevant sind.
- **Ludwigshafen:** Der Verbundstandort von BASF SE in Ludwigshafen, Rheinland-Pfalz, gilt als größter zusammenhängender Chemiestandort weltweit.
- **Rheinland:** Charakteristisch ist seine hohe Dichte von Chemieunternehmen, die südlich und nördlich von Köln am Rhein entlang gelegen sind und sich insbesondere in den Chemieparks Wesseling, Knapsack, Leverkusen und Dormagen aggregieren.
- **Emscher-Lippe:** Im nördlichen Teil des Ruhrgebiets gelegen und dort von den beiden namensgebenden Flüssen eingerahmt, handelt es sich um eine der wirtschaftlichen Kernzonen des Ruhrgebiets, die auch zu den wichtigsten Chemieregionen Deutschlands und Europas zählt.
- **Mitteldeutsches Chemiedreieck:** Das Mitteldeutsche Chemiedreieck ist ein regionales Netzwerk der chemischen Industrie in Sachsen-Anhalt, Sachsen und Brandenburg. Für die Polymer-Wertschöpfungskette sind insbesondere die Chemieparks Zeitz, Böhlen, Leuna und Schkopau relevant, weitere Standorte mit anderem Produktfokus befinden sich in Schwarzheide und Bitterfeld-Wolfen.
- **Nordsee:** In den norddeutschen Bundesländern Niedersachsen und Schleswig-Holstein gelegen setzt sich das Cluster aus der Raffinerie Heide und den petrochemischen Standorten in Brunsbüttel und Stade zusammen.
- **Rotterdam:** Hierbei handelt es sich um den größten Seehafen und den zweitgrößten Chemiestandort in Europa, welcher als Teil der ARRRRA⁹⁴-Region eng mit der überregionalen Chemieindustrie vernetzt ist.
- **Antwerpen:** Der Hafen von Antwerpen gilt als größter Chemiestandort in Europa und als zweitgrößter weltweit. Mit der Anbindung an den internationalen Seeverkehr und einem engmaschigen Pipelinesystem stellt das Cluster ein zentrales Drehkreuz für den Transport von Roh- und Grundstoffen innerhalb der ARRRRA-Region sowie der weiteren europäischen Petrochemie dar.

Wie ebenfalls in Abbildung 6.1 erkennbar, sind die einzelnen Cluster in einem System aus Pipelineinfrastruktur eng miteinander vernetzt und tauschen darüber Rohstoffe, Basischemikalien und Zwischenprodukte aus. Mit Ausnahme des Mitteldeutschen und Bayerischen Chemiedreiecks verfügen alle deutschen Petrochemie-Cluster zudem über einen direkten Zugang zur Binnenschifffahrt mit eigenen Häfen. Für die anderen Cluster ist die Eisenbahn von zentraler Bedeutung für ihre Lieferketten.

6.5 Das petrochemische Cluster Mitteldeutsches Chemiedreieck

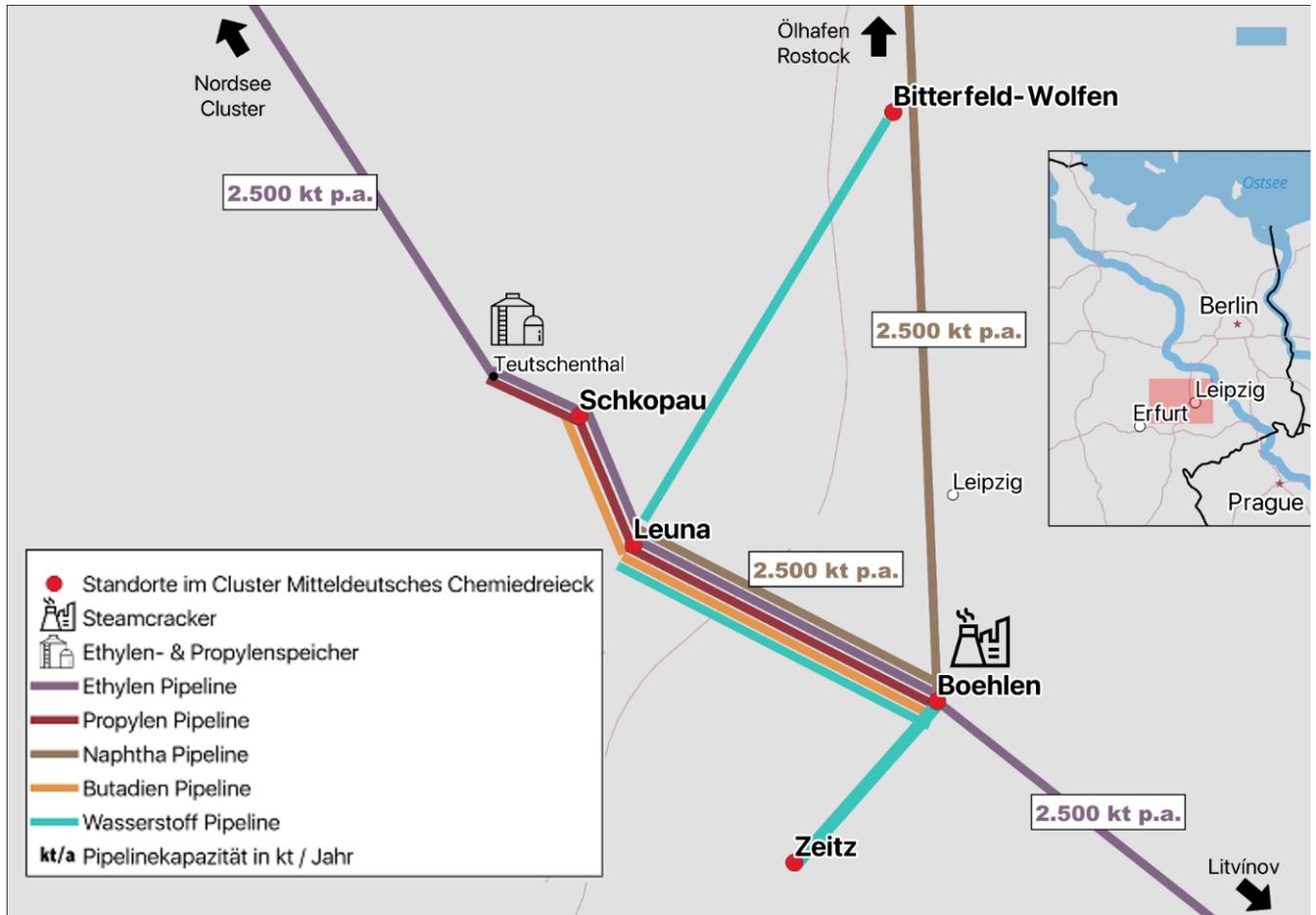


Abb. 6.2 Geographische Verortung des Clusters Mitteldeutsches Chemiedreieck und der zugehörigen Standorte sowie seiner infrastrukturellen Vernetzung und Anbindung an andere Regionen, Quelle: Eigene Darstellung.

Charakterisierung des Clusters

Das Mitteldeutsche Chemiedreieck, oder auch Central European Chemical Network (CeChemNet), ist ein regionales Netzwerk der chemischen Industrie in Sachsen-Anhalt, Sachsen und Brandenburg. Es besteht offiziell aus den Chemieparks Zeitz, Böhlen, Leuna, Schkopau, Schwarzheide und Bitterfeld-Wolfen. Die beiden letztgenannten stehen in der vorliegenden Analyse jedoch weniger im Fokus, da dort andere Produktschwerpunkte als Polymere verfolgt werden (insbesondere Fein- und Spezialchemikalien sowie Anorganika) sowie Schwarzheide regional eher der Lausitzer Region zugerechnet werden kann. Zusammengenommen sind im Cluster etwa 600 Unternehmen an den verschiedenen Standorten angesiedelt, beschäftigen rund 28.000 Arbeitskräfte und umfassen eine Gesamtfläche von knapp 4.000 km² (CeChemNet, o. J.)

Die Entwicklung des Mitteldeutschen Chemiedreiecks ist historisch eng mit den reichen Braunkohlevorkommen der Region verbunden, die über Jahrzehnte hinweg sowohl als Energiequelle als auch als

Kohlenstoffbasis für die chemische Industrie genutzt wurden. Diese natürlichen Ressourcen legten den Grundstein für eine intensive industrielle Nutzung, sodass die Region bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs zu einem der wichtigsten Zentren der deutschen Grundstoffchemie avancierte. Die Standorte waren über ein dichtes Netz von Transporttrassen miteinander und mit den Braunkohletagebauen verbunden, was eine effiziente Rohstoffversorgung und Produktionsweise sicherstellte. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde in anderen Regionen Deutschlands ein Wandel von der Kohle- zur Petrochemie vorangetrieben, während dieser Transformationsprozess in der DDR nur teilweise umgesetzt wurde. Stattdessen blieb die chemische Industrie hier überwiegend auf die Braunkohle angewiesen. Erst mit der Wiedervereinigung Deutschlands in den 1990er Jahren wurden tiefgreifende Veränderungen eingeleitet. Dazu zählten umfangreiche Umstrukturierungen und Privatisierungen der ehemals staatlich kontrollierten Unternehmen sowie die Einführung strenger Umweltauflagen und Sanierung zahlreicher belasteter Flächen. Das Ergebnis dieser Neuausrichtung ist ein petrochemischer Rohstoffverbund, zu dem eine Mineralö Raffinerie in Leuna und ein Steamcracker in Böhlen gehört. Heute positionieren sich die Chemieparks in Mitteldeutschland als innovative Wissensstandorte und verstehen sich als Knowledge Sites, die eng mit den ansässigen Forschungseinrichtungen wie den Fraunhofer-Instituten zusammenarbeiten, um Synergien innerhalb des Stoffverbunds optimal zu nutzen und Innovationen voranzutreiben. Wie Abbildung 6.2 zeigt, sind die einzelnen Chemieparks innerhalb des Clusters infrastrukturell eng miteinander vernetzt. So bestehen Pipelineverbindungen für Ethylen, Propylen, Butadien, Wasserstoff und weitere technische Gase innerhalb des Clusters, hinzu kommen Rohstoffspeicher im angrenzenden Teutschenthal sowie Anbindungen an benachbarte Chemieregionen und den Ölhafen Rostock. Diese Infrastrukturen ermöglichen die Herstellung und den Austausch zahlreicher Grundstoffchemikalien – nicht zuletzt für die Polymerproduktion an den verschiedenen Standorten im Cluster.

So werden im DOW Value Park in Böhlen auf 320 ha Fläche petrochemische Grundstoffe wie Ethylen und Propylen sowie Intermediäre wie Acrylsäure, Anilin und Styrol produziert. Herzstück des Chemieparks ist ein Steamcracker mit einer Produktionskapazität von 565.000 t Ethylen/Jahr, aus welchem auch die Werke in Schkopau und Leuna beliefert werden (Petrochemicals Europe, o. J.; Remppe, 2013). Dies entspricht einer Verarbeitungskapazität von etwa 1,6 mio. t Naphtha/Jahr (Wuppertal Institut, 2022) und geht mit jährlichen Emissionen von rund 1,1 mio. t CO₂ einher (European Union, 2022). Wie Abbildung 6.2 zeigt, wird die Feedstockversorgung einerseits über eine Pipelineverbindung nach Leuna sichergestellt, wo Naphtha aus Rohöl destilliert wird. Außerdem besteht eine dezidierte Naphtha-Pipeline bis zum Ölhafen Rostock, von wo aus der Rohstoff ebenfalls bezogen werden kann – früher vor allem aus Russland, heute wegen des Angriffskriegs auf die Ukraine jedoch von alternativen Quellen wie Algerien, Katar und den USA (Ostsee-Zeitung, o. J.). Die energetische Versorgung des Standorts wird über ein Braunkohlekraftwerk abgedeckt.

Im DOW Value Park in Schkopau werden auf 600 ha Fläche anorganische Grundstoffchemikalien wie Chlor und Natronlauge, aber auch Polymerprodukte wie Vinylchlorid, Polyethylen und Polyethylen-terephthalat hergestellt. Auch hier übernimmt ein Braunkohlekraftwerk die energetische Versorgung (CeChemNet, o. J.). Ebenfalls am Standort angesiedelt ist das Fraunhofer Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung sowie das Unternehmen Trinseo, welches vor Ort Polystyrol herstellt. Der Chemiepark in Leuna wiederum beherbergt auf 1.300 ha Fläche die einzige Erdö Raffinerie im Cluster und versorgt die Standorte mit Raffinerieprodukten, nutzt jedoch auch das Ethylen aus Böhlen zur Produktion von Intermediären und Polymeren (InfraLeuna, o. J.). Im Chemie- und Industriepark Zeitz werden verschiedene Stoffe der Grund- und Spezialchemie hergestellt - unter anderem Adipinsäure, welches der Herstellung von Polyamid dient -, der Standort beherbergt jedoch auch eine Bioraffinerie. In Schwarzheide produziert die BASF verschiedene Veredelungschemikalien,

Schaumstoffe, Polyurethan-Grundstoffe und technische Kunststoffe. Im Chemiapark in Bitterfeld-Wolfen arbeiten rund 300 Unternehmen der Chlor-, Phosphor-, Farbstoff-, Pharma- und Feinchemie (IMG, o. J.).

Die fossilen Rohstoffe Braunkohle, Erdöl und Erdgas dominieren heute die Produktionsstrukturen im Mitteldeutschen Chemiedreieck. Es lassen sich aber auch verschiedene Initiativen für eine klimafreundlichere Energie- und Rohstoffbasis in der Region verzeichnen, die an den einzelnen Standorten in unterschiedlichen Maßstäben umgesetzt werden. Das größte dieser Projekte ist die derzeit im Bau befindliche Bioraffinerie von UPM in Leuna, in der zukünftig Biochemikalien wie Monoethylen- und Monopropylenglykole aus Laubholz mit einer Gesamtkapazität von 220 kt/Jahr hergestellt werden sollen (IMG, o. J.). Ebenfalls in Leuna betreibt das Fraunhofer IMWS eine Pilotanlage zur Vergasung von Kunststoffabfällen und Restbiomasse mit einer Verarbeitungskapazität von 25 kt/Jahr (Fraunhofer IMWS, 2018). DOW plant eine chemische Recyclinganlage für Kunststoffabfälle in Böhlen, die mit einer Jahreskapazität von bis zu 120 kt/Jahr das größte Projekt dieser Art in Europa werden und ab 2025 in Betrieb gehen soll (Heitkamp, 2022). Equipolymers in Schkopau plant, 25 % chemisch recyceltes PET als Rohstoff in der PET-Produktion einzusetzen (KunststoffWeb, 2022). Insgesamt könnten diese alternativen Routen mit einer Verarbeitungskapazität von 400 kt/Jahr einen relevanten Beitrag leisten. Dennoch ist zu beachten, dass die jährliche Verarbeitungskapazität des Steamcrackers in Böhlen 1,6 Mt Naphtha beträgt. Im Bereich der grünen Wasserstoffproduktion baut Linde derzeit eine 24-MW-PEM-Elektrolyseanlage, die in das bestehende H₂-Netzwerk des Clusters einspeisen wird (MVU Sachsen-Anhalt, 2022). Die Total Energy Raffinerie in Leuna errichtete 2023 eine Pilotanlage für grünes Methanol, das auf Elektrolysewasserstoff und CO₂ aus Raffinerieprozessen basiert. Dieses Methanol soll jedoch primär in der Luftfahrt und nicht als Rohstoff für die chemische Industrie genutzt werden (Fraunhofer IWES, 2023). Hinsichtlich der Initiativen im Energiesektor hat LEAG eine sogenannte Gigawatt-Fabrik in Böhlen in Auftrag gegeben, die aktuell aus einem 17-MW-Solarpark besteht und bis 2040 auf 14 GW erweitert werden soll. Flexible wasserstofffähige Kraftwerke oder reine Wasserstoffkraftwerke mit einer Kapazität von 4,5 GW sollen den Park bis 2040 ergänzen (LEAG, 2023). Neben diesen Einzelprojekten sind die Industrieparks und einige größere Chemieunternehmen im Cluster im gleichnamigen CeChem-Netzwerk organisiert. Dieses stellt jedoch keine Transformationsinitiative im eigentlichen Sinn dar, sondern dient primär der Kommunikation wirtschaftlicher Interessen der Unternehmen (CeChemNet, o. D.). Die Chemieparks Leuna und Zeitz sind hingegen Partner im sogenannten BioEconomy Cluster, das innovative Nutzungsmöglichkeiten für Biomasse in verschiedenen Industriesektoren entwickelt (BioEconomy e.V., o. D.). Das Forum Rathenau in Bitterfeld-Wolfen vernetzt hingegen Partner aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik zu den Themen Kohlenstoffkreislauf und Transformation. Nicht zuletzt entsteht in Delitzsch derzeit das Center for the Transformation of Chemistry (CTC), das als neues Forschungszentrum Wissenschaft und Industrie zusammenbringen soll (CTC, o. D.).

Produktion und Verarbeitung innerhalb des Clusters

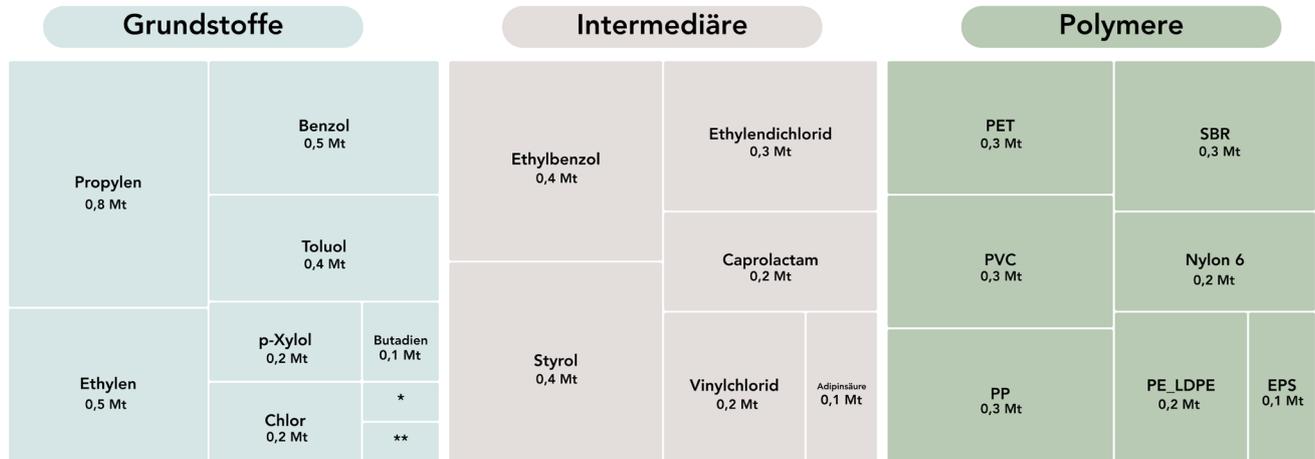


Abb. 6.3 Produktion relevanter Stoffe in der Polymer-Wertschöpfungskette im Cluster Mitteldeutsches Chemiedreieck für das Jahr 2018. Alle hier dargestellten Produktionsvolumina basieren auf eigenen Modellierungsergebnissen und sind daher mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet

*Xylol <0,1 Mt, **H2 <0,1 Mt

Quelle: Scholz et al. (2023).

Abbildung 6.3 stellt die Polymerproduktion und die vorausgehende Verarbeitung hierfür relevanter Vor- und Zwischenprodukte an den Standorten innerhalb des Clusters Mitteldeutsches Chemiedreieck überblicksartig dar. Die Flächen der Rechtecke entsprechen jeweils den jährlichen Produktions- bzw. Verarbeitungsmengen am Standort, welche aus eigenen Modellergebnissen im Rahmen des GreenFeed-Forschungsprojekts hervorgehen.

Die Grundlage des Produktionssystems für Polymere im Mitteldeutschen Chemiedreieck bildet eine Palette organischer und anorganischer Grundstoffe. Mengenmäßig am relevantesten sind hier in absteigender Reihenfolge die Olefine Propylen und Ethylen sowie die Aromaten Benzol und Toluol. Diese Grundstoffe werden primär auf zwei Wegen bereitgestellt: Zum einen durch die Produktion im Naphtha-Steamcracker in Böhlen, zum anderen spielen Raffinerieprozesse wie Fluid Catalytic Cracking (FCC) sowie Destillations- und Extraktionsverfahren eine gewichtige Rolle. Diese Grundstoffe bilden die Ausgangsbasis für die Herstellung zentraler Intermediäre wie Ethylbenzol, Styrol, Ethylendichlorid, Caprolactam, Vinylchlorid und Adipinsäure. Aus diesen Intermediären werden wiederum eine Vielzahl an Polymeren produziert. In absteigender Reihenfolge sind dies Polyethylenterephthalat (PET), Polyvinylchlorid (PVC), Polypropylen (PP), Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR), Polyethylen niedriger Dichte (PE-LDPE), Nylon 6 und expandiertes Polystyrol (EPS).

Das nachfolgende Sankey-Diagramm in Abbildung 6.4 schlüsselt die Stoffflüsse und Verzweigungen der oben beschriebenen Polymerproduktion im Mitteldeutschen Chemiedreieck detaillierter auf. Die dargestellten Produktionsvolumina und -flüsse basieren auf eigenen Modellergebnissen und sind als indikativ zu bewerten. Ein Knotenpunkt ohne vorangehenden oder nur teilweise abdeckenden Fluss weist auf Produktbezüge von außerhalb des Clusters hin. Folgt hingegen auf einen Knotenpunkt kein (vollständiger) Fluss in einen Folgeprozess, so deutet dies auf Exporte hin. Diese können prinzipiell an andere Standorte geliefert, direkt an Kunden verkauft oder auch für Prozesse außerhalb des Polymersystems verwendet werden. Auffällig ist, dass große Mengen der produzierten Olefine und Aromaten nicht zu Polymeren weiterverarbeitet werden. Ethylen, das als Basis für

die Produktion von Polyethylen sowie über die Intermediäre Ethylbenzol und Ethylendichlorid für SBR, EPS und PVC dient, wird nur zu etwa 50 % verarbeitet, während Propylen nur zu etwa einem Drittel zu Polypropylen weiterverarbeitet wird. Die Aromaten Toluol und p-Xylol werden trotz großer Produktionsmengen überhaupt nicht für die Polymerproduktion genutzt. Auch bei Styrol zeigen sich Überschüsse, da dieses nur in geringen Mengen in die Herstellung von SBR und EPS einfließt. Andererseits besteht bei einigen Zwischenprodukten offenbar ein Importbedarf. Dazu zählen insbesondere Terephthalsäure, Cyclohexan und Ethylenglykol. Auch beim Grundstoff Butadien, der vor allem für die Kautschuk-Produktion benötigt wird, zeigt sich ein signifikanter Bedarf an externen Bezugsquellen.

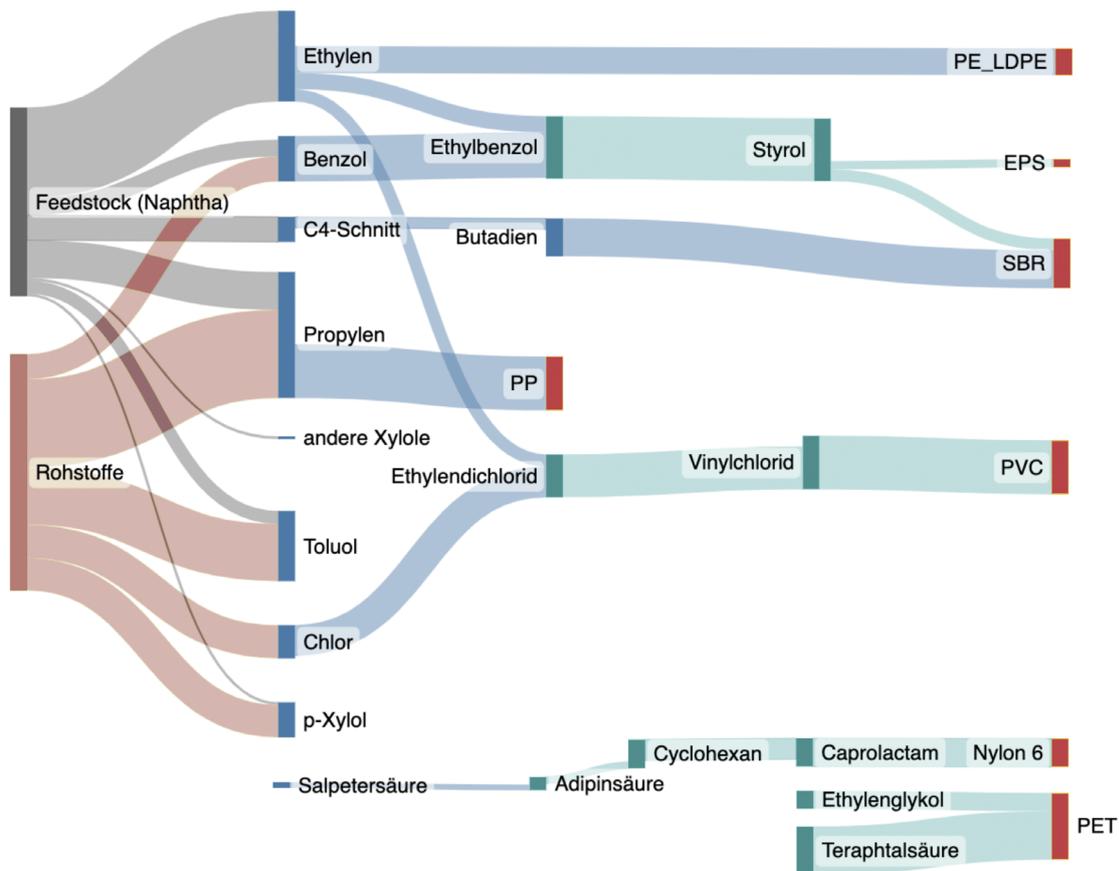


Abb. 6.4 Sankey-Diagramm zur Produktion innerhalb des Mitteldeutschen Chemiedreiecks. Alle hier dargestellten Produktionsvolumina und -Prozessketten basieren auf eigenen Modellergebnissen und sind mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet. Die Ausgangsbasis "Rohstoffe" ist hier als Sammelbegriff für Inputstoffe wie Rohöl, Erdgas, Biomasse, Salze etc. zu verstehen, die sich von dem Feedstock Naphtha abgrenzen.

Quelle: Scholz et al. (2023).

6.6 Literatur

BioEconomy e.V. (n.d.): BioEconomy Start, Abgerufen 11. November 2024 von <https://www.bioeconomy.de>

CeChemNet. (o. J.). *CeChemNet Partner*. Abgerufen 11. November 2023, von <https://www.cechemnet.com/partner>

CHEManager. (2011). *Mitteldeutsche Chemieparks als „Knowledge Sites“*. Abgerufen 11. November 2022, von <https://www.chemanager-online.com/news/mitteldeutsche-chemieparks-als-knowledge-sites>
ChemCoast Park Brunsbüttel. (o. J.). *Unternehmen | ChemCoast Park Brunsbüttel*. Abgerufen 11. November 2022, von <https://www.chemcoastpark.de/de/unternehmen/>

ChemCologne e.V. (2016). *Willkommen in Europas stärkster Chemie-Region*. Abgerufen 11. November 2022, von https://www.chemcologne.de/fileadmin/user_upload/CCC/Dokumente/ChemCologne_Imagebroschue-re_2016.pdf

Equipolymers. (o. J.). *VIRIDIS 25*. Abgerufen 11. November 2022, von <https://www.equipolymers.com/EN/Virdis?PageID=20>

Forum Rathenau e.V. (o. J.). Abgerufen am 30.11.2024, von <https://www.forum-rathenau.de/>

Fraunhofer IWES. (2023). *Startschuss für weltweit erste Pilotanlage zur kosteneffizienten Produktion von grünem Methanol*. <https://www.iwes.fraunhofer.de/de/presse-medien/archiv-2023/startschuss-fuer-weltweit-erste-pilotanlage-zur-kosteneffiziente.html>

Fraunhofer IMWS (2018): *Aus Abfall wird Rohstoff—Fraunhofer IMWS*, available at <https://www.imws.fraunhofer.de/de/presse/pressemitteilungen/pilotanlage-carbontrans.html>, accessed 20 November 2023.

IMG. (o. J.). *Chemiepark-Konzept und chemischer Stoffverbund in Sachsen-Anhalt*. Abgerufen 4. Dezember 2024, von <https://www.investieren-in-sachsen-anhalt.de/chemie/chemiepark-konzept-und-chemischer-stoffverbund-in-sachsen-anhalt>

InfraLeuna. (o. J.). *Stoffverbund—Infraleuna*. Abgerufen 11. November 2022, von <https://www.infraleuna.de/standort-leuna/stoffverbund>

KunststoffWeb (2022): *Rittec: Kooperation bei PET-Recycling*, abgerufen 20.11.2024, von https://www.kunststoffweb.de/branchen-news/rittec_kooperation_bei_pet-recycling_t250168

Landesportal Sachsen-Anhalt. (2022, Mai 5). *Wünsch: „Leuna wird zum Kraftzentrum einer zukunftsfähigen Wasserstoffwirtschaft“*. Landesportal Sachsen-Anhalt. Abgerufen 11. November 2022, von https://www.sachsen-anhalt.de/bs/pressemitteilungen/?no_cache=1

LEAG (2023): *LEAG-GigawattFactory wächst mit weiterem 17-MWp-Solarpark*, available at <https://www.leag.de/de/news/details/leag-gigawattfactory-waechst-mit-weiterem-17-mwp-solarpark-1/>

MVU Sachsen-Anhalt (2022): *Energieministerium will 55 Millionen Euro für Wasserstoff-Infrastrukturen bereitstellen*, abgerufen 20.11.2024, von <https://mwu.sachsen-anhalt.de/artikel-detail/energieministerium-will-55-millionen-euro-fuer-wasserstoff-infrastrukturen-bereitstellen>

Petrochemicals Europe. (o. J.). *Cracker Capacity—Petrochemicals Europe—Cracker Capacity. Petrochemicals Europe*. Abgerufen 11. November 2022, von <https://www.petrochemistry.eu/about-petrochemistry/petrochemicals-facts-and-figures/cracker-capacity/>

Prognos; Öko-Institut; Wuppertal Institut. (2020). *Klimaneutrales Deutschland*. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität

Regiochemie. (o. J.). *Historie: Am Anfang war die Kohle*. Regiochemie. Abgerufen 11. November 2022, von <https://www.regiochemie.de/chemieregion/historie>

Rempe, U. (2013, August 25). *Der Cracker von Dow in Böhlen liefert Rohstoffe für die mitteldeutsche Kunststoff-Industrie*. aktiv. Abgerufen 11. November 2022, von <https://www.aktiv-online.de/news/der-cracker-von-dow-in-boehlen-liefert-rohstoffe-fuer-die-mitteldeutsche-kunststoff-industrie-122>

RITTEC Umwelttechnik. (2022, April 26). *PET-Hersteller Equipolymers bewegt sich mit neuer Rittec-Technologie weiter in Richtung Circular Economy*. Abgerufen 11. November 2022, von <https://www.pressebox.de/pressemitteilung/rittec-umwelttechnik-gmbh-lneburg/PET-Hersteller-Equipolymers-bewegt-sich-mit-neuer-Rittec-Technologie-weiter-in-Richtung-Circular-Economy/boxid/110945>

Scholz, A., Schneider, C., Saurat, M., & Theisen, S. (2023). *Das petrochemische System in Deutschland und Westeuropa: Regionale Analyse der Polymer-Produktion in Deutschland, den Niederlanden und Belgien ; Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „Green Feedstock for a Sustainable Chemistry - Energiewende und Ressourceneffizienz im Kontext der dritten Feedstock-Transformation der chemischen Industrie“* (S. 14667 KB, 83 pages) [Application/pdf]. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. <https://doi.org/10.48506/OPUS-8146>

TotalEnergies (2022): *TotalEnergies, Sunfire und Fraunhofer geben den Startschuss für grünes Methanol in Leuna*, available at <https://totalenergies.de/totalenergies-sunfire-und-fraunhofer-geben-den-startschuss-fuer-gruenes-methanol-leuna>

UPM Biochemicals. (o. J.). *Bioraffinerie Leuna*. Bioraffinerie Leuna | UPM Biochemicals. Abgerufen 11. November 2022, von <https://www.upmbiochemicals.com/de/uber-upm-biochemicals/bioraffinerie-leuna/>

VCI. (2024). *Chemiewirtschaft in Zahlen*. Verband der Chemischen Industrie e.V. Abgerufen am 01.12.2024, von <https://www.vci.de/langfassungen/langfassungen-pdf/>

Wuppertal Institut. (2022). *Ergebnisse aus eigenem WISEE-edm-I-Modell*.

TEILBERICHT VII



Zentrale Aspekte einer aktorsbasierten Diskussion und Umsetzung einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft

7.1 Einführung: Akteursbasierte Diskussionen auf dem Weg zu einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft

Die Transformation der Industrie zur Klimaneutralität bedarf eines anderen Umgangs mit Kohlenstoff, um Treibhausgasemissionen zu vermeiden. In der Energieumwandlung ist diese Erkenntnis bereits seit längerem handlungsleitend für eine Vielzahl von Politikfeldern, wie zum Beispiel dem Ausbau der erneuerbaren Energien oder dem Ausstieg aus der Kohlenutzung. Der Umgang mit unvermeidbar anfallenden CO₂-Mengen aus der Industrie, zum Beispiel im Stahlsektor oder bei der Kalk- und Zementherstellung hat schon vor einigen Jahren zu Überlegungen geführt, wie mit diesen Mengen umgegangen werden soll. In den letzten Jahren ist auch die stoffliche Nutzung von Kohlenstoff zum Beispiel als Grundstoff der Chemieindustrie immer mehr in den Fokus der wissenschaftlichen und politischen Diskussion geraten. Dieses Papier zeichnet zentrale Stränge der Forschung und der Akteursdiskussion in diesen Bereich in den Jahren 2021 bis 2024 in NRW nach und gibt einen spezifischen Blick auf die Einrichtung, Durchführung und Erkenntnisse des Zukunftslabors Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft von IN4climate.NRW im Rheinischen Revier. Ziel ist es, die Erfahrungen zu dokumentieren und für andere Regionen und Akteure nutzbar zu machen.

7.2 Studienauftrag für den Teilbericht VII

Das Wuppertal Institut hat mit dem Zukunftslabor Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft bereits wertvolle Erfahrungen in der Zusammenarbeit mit regionalen Akteuren zur Transformation hin zu einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft im Rheinischen Revier gesammelt. Obwohl die nationalen und europäischen Rahmenbedingungen sowie die Fördergebietskulisse für beide Reviere identisch sind, bestehen dennoch erhebliche Unterschiede in historischer Entwicklung, Akteursstruktur und wirtschaftlicher Ausrichtung. Die Erkenntnisse aus der Arbeit im Rheinischen Revier können jedoch wertvolle Impulse für das Mitteldeutsche Revier liefern. In diesem Zusammenhang sollen zentrale Diskussionen und Entscheidungspunkte, die zur Gründung des Zukunftslabors Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft geführt haben, dargestellt werden. Zudem wird der bisherige Arbeitsprozess skizziert und Lessons Learned aus der Zusammenarbeit mit Unternehmen herausgearbeitet.

7.3 Methodik und Systemgrenzen

Dieser Teilbericht beschreibt die zentralen Diskussions- und Entscheidungspunkte, die eine Rolle in der Auseinandersetzung mit dem Thema nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft in Nordrhein-Westfalen im Rahmen der industriellen Transformation zur Klimaneutralität gespielt haben. Darin enthalten sind die Skizzierung der Arbeitsprozesse der Gremien, insbesondere des Zukunftslabors Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft von In4climate.RR sowie Lessons Learned aus der gemeinsamen Diskussion mit den Unternehmen.

Dieser Teilbericht basiert auf den öffentlich verfügbaren Publikationen der unterschiedlichen Prozesse. Darüber hinaus wurden interne Papiere und Protokolle der einzelnen Prozesse genutzt und teilweise dargestellt, die dem Wuppertal Institut zur Verfügung stehen. Das Wuppertal Institut war und ist in allen in diesem Teilbericht beschriebenen Prozessen seit 2012 aktiv beteiligt. Die dargestellten Prozesse und Themen beziehen sich sowohl auf die nationale Ebene, auf Diskussionen auf Länderebene sowie auf Prozesse und Unternehmen im Rheinischen Revier, die als Anregungen für das Mitteldeutsche Revier dienen können. Der Teilbericht wurde im Zeitraum zwischen Mai 2024 und Februar 2025 erstellt.

7.4 Meilensteine der Diskussion zur Kohlenstoffwirtschaft in NRW

7.4.1 Der Klimaschutzplan des Landes NRW

Ein Blick zurück zeigt den Klimaschutzplan NRW als einen wichtigen Ausgangspunkt für die heutige Diskussionskultur und -struktur im Land NRW zwischen der Landesregierung, den Wirtschaftsakteuren und der Forschung. 2012 hatte das damalige Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen sechs Arbeitsgruppen gestartet, in denen zahlreiche Expertinnen und Experten aus Verbänden sowie Unternehmen, Kommunen, Wissenschaft, Kirchen, Gewerkschaften und weiteren gesellschaftlichen Gruppen Klimaschutzstrategien und -maßnahmen erarbeiten und diskutieren sollten. Diese Arbeitsgruppen wurden durch wissenschaftliche Studien und Szenarien vom Wuppertal Institut und der Prognos AG sowie von der Beteiligungsagentur IFOK unterstützt (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2015). In der Arbeitsgruppe 2 Produzierendes Gewerbe und Industrie wurden mit Industrievertreter*innen mögliche Maßnahmen zum Klimaschutz, wenn auch damals noch unter dem Ziel der Treibhausgasreduzierung von minus 80% bis 2050 ggü. 1990, diskutiert und entwickelt. Diese durchaus kontroverse Diskussion führte aber zur ersten Annäherung der damals noch als gegensätzlich erachteten Ziele Klimaschutz und Erhalt der Industrie in NRW. In dem 2015 erschienenen Klimaschutzplan NRW wurde dann beispielsweise mit der Maßnahme LR-KS2-S14 „Zukunftspfad Low Carbon Technologien in der Industrie“ festgehalten, dass zum Erreichen der Klimaschutzziele Technologiesprünge erforderlich seien und der Einsatz von Low Carbon Technologien beschleunigt werden muss (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2015, S. 97). Die langfristige Wirkung hatte allerdings die Maßnahme LR-KS2-M28 „Low-Carbon-Zentrum“. In dieser Maßnahme wurde ein gemeinsamer Ansatz von Wissenschaft und Wirtschaft zur Impulsgebung für innovative Prozess- und Produktentwicklungen von Low Carbon Technologien und damit zur Standortsicherung der Industrie in NRW beschrieben. Aus dieser gemeinsamen Sicht auf die Herausforderungen aus der Wirtschaft, der Wissenschaft und der Landesregierung hat sich eine Projekt- und Forschungsfamilie entwickelt, die seitdem intensiv an den Fragestellungen der Industrietransformation arbeitet. Dazu gehören die Initiative IN4climate.NRW und das Forschungsprojekt SCI4climate.NRW.

Tabelle 7.1: Maßnahme „Low-Carbon-Zentrum“ aus dem Klimaschutzplan NRW

Maßnahme LR-KS2-M28 „Low-Carbon-Zentrum“ aus dem Klimaschutzplan NRW
<p>Um über einen gemeinschaftlichen Ansatz von Wissenschaft und Wirtschaft kontinuierlich Impulse für innovative Prozess- und Produktentwicklungen für Low-Carbon-Technologien zu geben, will die Landesregierung Aktivitäten im Bereich der Industrieforschung, Wissenschaft, Unternehmensorganisation, Kapitalmarkt und Wirtschaft unter dem Dach eines zu gründenden „Low-Carbon-Zentrums“ (Arbeitstitel) vernetzen. Dafür wird sie entsprechende Partner in der Industrie suchen, um die erforderlichen Voraussetzungen zu schaffen. Ziel ist das gemeinsame Erarbeiten von Lösungsvorschlägen für eine Entwicklung von Low-Carbon-Technologien sowie entsprechenden Organisationen, Business- und Finanzierungsmodellen. Über die intensive Wechselwirkung zwischen Wirtschaft, Universitäten, Fachhochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen des Landes kann ein Nukleus für eine virtuelle Ressourcenuniversität entstehen, die kontinuierlich zentrale Impulse für den Austausch untereinander sowie die Einbindung der Themen in Forschung und Lehre gibt. Innerhalb des Zentrums kann ein Exzellenznetzwerk für Unternehmen der Industrie und des Produzierenden Gewerbes etabliert werden, die eine Vorreiterrolle bei der Entwicklung und Anwendung von Low-Carbon-Technologien befördern, um die Breitenwirkung derartiger Technologien zu erhöhen und gleichzeitig das Image des Landes Nordrhein-Westfalen als innovativer, zukunftsfähiger Industriestandort zu verbessern.</p>

7.4.2 Begleitforschung in der Industrietransformation – Das Projekt SCI4climate.NRW

Das Forschungsprojekt SCI4climate.NRW (SCI4Climate.NRW, o. J.) beschäftigt sich mit der wissenschaftlichen Begleitung der Industrietransformation. In der ersten Förderphase 2018 – 2022 hat das Forschungsprojekt in enger Zusammenarbeit mit der Initiative IN4climate.NRW und der energieintensiven Grundstoffindustrie in NRW zu Themen wie Technologien und Infrastrukturen, Produkte und Wertschöpfungsketten, Szenarien und Transformationspfade sowie Rahmenbedingungen geforscht (SCI4climate.NRW, 2023a). Das Projekt wurde vom Wuppertal Institut geleitet, weitere Forschungspartner waren das Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, das Institut der deutschen Wirtschaft (IW Köln), die RWTH Aachen (Lehrstühle für Operations Management OM und Technische Thermodynamik LTT), die VDZ Technology gGmbH (VDZ) und die VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH (BFI). Das Ziel von SCI4climate.NRW 2018-2022 war die wissenschaftliche Betrachtung der Systemherausforderungen, die sich für das Land Nordrhein-Westfalen mit seinem hohen Anteil an Unternehmen der energieintensiven Grundstoffindustrie bei einer Transformation hin zu einer klimaneutralen und zukunftsfähigen Industrie ergeben. Die wissenschaftlichen Arbeiten und erstellten Studien sollten im Dialog mit der Industrie das Wissen um mögliche Pfade und deren Auswirkungen hin zu einer klimaneutralen Industrie erweitern und den Unternehmen und dem Land Informationen zu Handlungsmöglichkeiten liefern. Das Projekt leistete Beiträge für eine branchenübergreifende Forschung für technische, infrastrukturelle oder organisatorische Innovationen. Weitere Beiträge waren die enge Interaktion mit Expert:innen der Industrie, die Bereitstellung interdisziplinärer Kompetenzen und die Vernetzung und Verknüpfung verschiedener relevanter Forschungs- und Analysestränge sowie eine intensive Zusammenarbeit mit dem Innovationsteam und den Arbeitsgruppen aus IN4climate.NRW (SCI4climate.NRW, 2023a). Innerhalb dieser Förderphase

wurden eine Reihe von Veröffentlichungen zum Thema Kohlendioxidwirtschaft erarbeitet und in den Dialogprozess mit IN4climate.NRW eingespeist. Dazu gehört eine Veröffentlichung zu Fragen des Ferntransports von CO₂ (SCI4climate.NRW, 2021c), Themen wie der Einsatz von CCU (Carbon Capture and Utilization) in NRW (SCI4climate.NRW, 2020) und ein Entwurf für eine Infrastrukturgestaltung eines CO₂-Netzes in NRW auf Basis einer klimaneutralen Industrie (SCI4climate.NRW, 2021a).

In einer zweiten Förderphase ab 2022 forscht SCI4climate mit einer leicht veränderten Partnerkonstellation: Das Wuppertal Institut, das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT), das Institut der deutschen Wirtschaft, die VDZ Technology gGmbH und das VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH (BFI).

7.4.3 Transformation der energieintensiven Grundstoffindustrie – Das Projekt IN4climate.NRW

IN4climate.NRW wurde 2018 von der Landesregierung NRW gegründet, um die Transformation der energieintensiven Grundstoffindustrie in NRW zu unterstützen. IN4climate.NRW und das Forschungsprojekt SCI4climate.NRW wurden gemeinsam erdacht und so strukturiert, dass die zukunftsgerichtete Entwicklung der Grundstoffindustrie sowohl organisatorisch als auch inhaltlich bestmöglich unterstützt werden sollte. In4climate.NRW kann als Netzwerk und intermediärer Akteur aufgefasst werden und war als innovatives Format unter Einbeziehung von Wissenschaft, Politik und Unternehmen gegründet worden (SCI4climate.NRW, 2021b). In4climate.NRW, das inzwischen in die Landesgesellschaft NRW.Energy4Climate integriert wurde, hat sich inzwischen zu einem Thinktank weiterentwickelt. Sie ist weiterhin eine bundesweit einzigartige Plattform für Wissenschaft, Industrie und Politik und veröffentlicht regelmäßig gemeinsam mit Industrieakteuren und Wissenschaft wichtige Impulspapiere für die Landes- und Bundesebene (IN4climate.NRW, o. J.).

Wichtige Veröffentlichungen von In4climate.NRW zum Thema Kohlendioxidwirtschaft sind zum Beispiel ein Impuls für einen nationalen Planungsprozess für eine CO₂-Transportinfrastruktur (IN4climate.NRW, 2022), ein Papier zu Infrastrukturanforderungen für CO₂ in NRW (IN4climate.NRW, 2021) oder auch einen frühen Diskussionsansatz zur Frage der Definition unvermeidbar anfallender CO₂-Mengen (IN4climate.NRW, 2020).

Die Diskussion zum Thema Kohlendioxidwirtschaft fand in 21 Sitzungen der Arbeitsgruppe Kohlendioxidwirtschaft zwischen 2019 und 2023 statt. Ab 2023 wird die Arbeit in der Fachgruppe Kohlenstoffwirtschaft weitergeführt.

7.4.4 Chancen und Hindernisse im Transformationsprozess zur Klimaneutralität – Das Projekt In4climate.RR

In4climate.RR (IN4climate.RR, o. J.) ist die Weiterentwicklung der erfolgreichen Arbeit von IN4climate.NRW im Rheinischen Revier. Die integrierte Zusammenarbeit von Wissenschaft, Politik und Unternehmen hilft, im Transformationsprozess zur Klimaneutralität Hindernisse und Chancen zu erkennen und konkrete Lösungsvorschläge und Projektideen zu entwickeln. Im Gegensatz zu In4climate.NRW, die sich vor allem mit Unternehmen der Grundstoffindustrie beschäftigen, öffnet sich IN4climate.RR für alle Unternehmen der verschiedenen Wertschöpfungsketten und erarbeitet Transformationsideen. Ziel von IN4climate.RR ist es, Unternehmen bei Investitionsentscheidungen zu unterstützen.

Heute sind schon bestimmte Entwicklungen hinsichtlich der Klimaneutralität absehbar, die bei Investitionsentscheidungen berücksichtigt werden müssen. Dazu benötigen Unternehmen aber verlässliche Informationen zu den aus heutiger Sicht absehbaren technologischen und gesellschaftlichen Entwicklungen und deren immer noch vorhandenen Unsicherheiten.

Um gemeinsam mit Unternehmen an diesen Fragestellungen zu arbeiten, wurde das Format der Zukunftslabore entwickelt. Zukunftslabore sind thematisch definierte Diskussionsformate, die sich regelmäßig (derzeit einmal pro Quartal) treffen und in denen Akteure aus dem Rheinischen Revier sich zu Themen der Nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft, der Zirkulären Wirtschaft und der industriellen Wasserstoffwirtschaft austauschen (IN4climate.RR, 2025).

Als wegweisendes Projekt der Industrietransformation ist die NRW-Initiative IN4climate.RR vom Bundeswirtschaftsministerium und der Service- und Beratungsstelle Regionale Industrieinitiativen 2023 mit dem Siegel „Ausgezeichnete regionale Industrieinitiative 2023“ ausgezeichnet worden.

Abbildung 7.1 zeigt eine Übersicht über die Formate der Kohlenstoffwirtschaft aus IN4climate.NRW, IN4climate.RR sowie die beiden Projektphasen von SCI4climate.NRW. Daraus ist deutlich ersichtlich, dass die Arbeitsgruppe Kohlendioxidwirtschaft von IN4climate.NRW in Verbindung mit den Forschungsarbeiten von SCI4climate.NRW schon seit 2018 aktiv ist. Wichtige Veröffentlichungen wie Studien zu möglichen und nötigen CO₂-Infrastrukturen in NRW waren inhaltliche Vorarbeiten zu der ersten Carbon Management Strategie eines Bundeslandes (2021) und bildeten wichtige Vorarbeiten zur aktuellen Diskussion um die nationale Carbon Management Strategie. Deutlich wird auch, dass der Fokus der Diskussion, der zu Beginn vor allem auf der Frage der CO₂-Abscheidung, Durchleitung und Speicherung lag, sich in den Formaten in Richtung Kohlenstoffwirtschaft weiterentwickelt hat und nun auch die stofflichen Bedarfe mit betrachtet. Ende 2022 wurden zusätzlich noch die Themen Carbon Capture and Utilization / Storage (CCU/CCS) im Transformationsbündnis 2 des Industriepaktes NRW behandelt (NRW.Energy4Climate, o. J.). Der Industriepakt war eine Plattform für die gemeinschaftliche Arbeit an der klimaneutralen Industrezukunft NRW, die als Teil von IN4climate.NRW im Dezember 2022 gegründet wurde und den Fokus über die Grundstoffindustrie hinaus erweiterte. Das Format ist inzwischen in die Fachgruppen von IN4climate.NRW übergegangen.

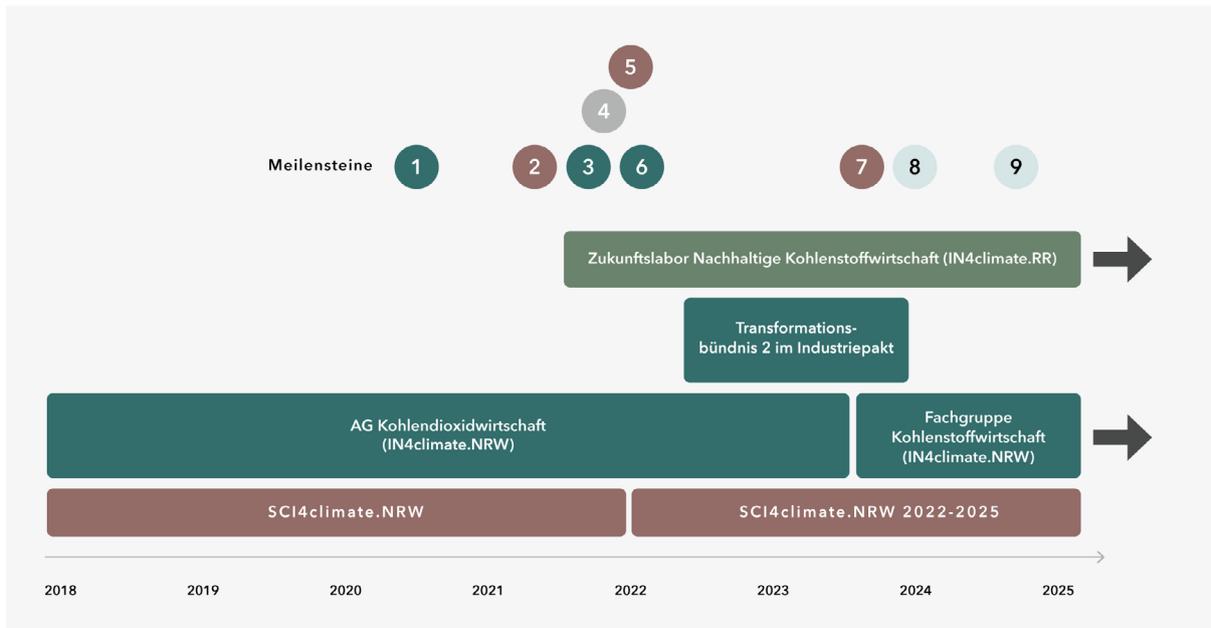


Abb. 7.1: Übersicht über Formate und wichtige Meilensteine der Diskussion zur Kohlenstoffwirtschaft in NRW

1	IN4climate.NRW 2020: Unvermeidbare CO ₂ -Entstehung in einer klimaneutralen Grundstoffindustrie NRW: Definition und Kriterien. Ein Diskussionsbeitrag der AG Kohlendioxidwirtschaft von IN4climate.NRW. Gelsenkirchen.	09/2020
2	SCI4climate.NRW 2021: CO ₂ -Entstehung der Industrie in einem klimaneutralen NRW, Impuls für eine Infrastrukturgestaltung, Wuppertal	06/2021
3	IN4climate.NRW (Hrsg.) 2021: CO ₂ in einer klimaneutralen Grundstoffindustrie: Infrastrukturanforderungen für NRW. Ein Diskussionspapier der Arbeitsgruppe Kohlendioxidwirtschaft. Gelsenkirchen.	10/2021
4	Carbon Management Strategie NRW	10/2021
5	SCI4climate.NRW 2021: Planungs- und zulassungsrechtliche Aspekte für den Ferntransport von Wasserstoff und Kohlendioxid in Deutschland, Oberhausen	11/2021
6	IN4climate.NRW (Hrsg.) 2022: Impuls: Nationaler Planungsprozess für eine CO ₂ -Transportinfrastruktur. Diskussionspapier der Initiative IN4climate.NRW. Düsseldorf.	11/2022
7	SCI4climate.NRW 2023: Treinhausgasneutralität bis 2045 - Ein Szenario aus dem Projekt SCI4climate.NRW. Wuppertal Institut & Institut der deutschen Wirtschaft	03/2023
8	Beginn des Stakeholderdialogs zur Carbon Management-Strategie	03/2023
9	Kabinettsbeschluss Carbon Management Strategie des Bundes	08/2024

Legende zur Abb. 7.1: Zuordnung der Meilensteine

7.5 Das Zukunftslabor Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft

Ansatz und Gründung

Erste Überlegungen zur Einrichtung eines Diskussionsformates im Rheinischen Revier zum Thema Kohlenstoff gab es im Jahr 2020. In diesem Jahr wurde das Investitionsgesetz Kohleregionen (InvKG) beschlossen, in dem die Vergabe von Fördermitteln u. A. zur Förderung des wirtschaftlichen Wachstums in den Braunkohlerevieren verankert wurde (InvKG - Investitionsgesetz Kohleregionen, 2020). Dabei lag es nahe, die erfolgreiche Arbeit des Formats IN4climate.NRW in Verbindung mit der Forschung von SCI4climate.NRW in das Rheinische Revier zu übertragen und dort mit regionalen Akteuren konkrete Umsetzungsschritte zur klimaneutralen Transformation zu gehen. Über das damals noch praktizierte Sterneverfahren der ZRR (ZRR – Zukunftsagentur Rheinisches Revier (Hrsg.), o. J.) wurde das gemeinsame Projekt von NRW.Energy4climate und Wuppertal Institut zügig bewertet und schlussendlich im März 2021 bewilligt.

Im Antrag selber waren die Formate der Zukunftslabore definiert. Zum Thema Kohlenstoff wurde ein Zukunftslabor Industrielles CCU und CCS beantragt. In dem Zukunftslabor zum Stand des Antrags Anfang 2021 ging es vor allem noch um prozessbedingt anfallende CO₂-Mengen und mögliche Nutzungsformen, zum Beispiel eine Kreislaufführung mittels CCU.

Im Laufe des Projektstartes wurde allerdings dieser Ansatz umfassend angepasst. Zum Projektstart führte IN4climate.RR eine interne Stakeholderanalyse im Rheinischen Revier durch, um ein aktuelles Bild zu der Zusammensetzung und der Struktur der Wirtschaftsakteure zu den Themen der Industrietransformation zu bekommen. Insgesamt wurden 408 Akteure identifiziert, die einen inhaltlichen Bezug zu den Themen der drei Zukunftslabore (Zirkuläre Wirtschaft, Industrielle Wasserstoffwirtschaft und Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft) hatten. Die Verteilung der Stakeholder auf die einzelnen Kreise ist in Abbildung 7.2 sichtbar. Es wurden deutlich mehr Unternehmen als andere Akteure identifiziert, die aus Sicht von IN4climate.RR Bedarf an Informationen zur Industrietransformation haben.

Regionale Verteilung der Stakeholderkategorien, die Kreisen zugeordnet werden konnten

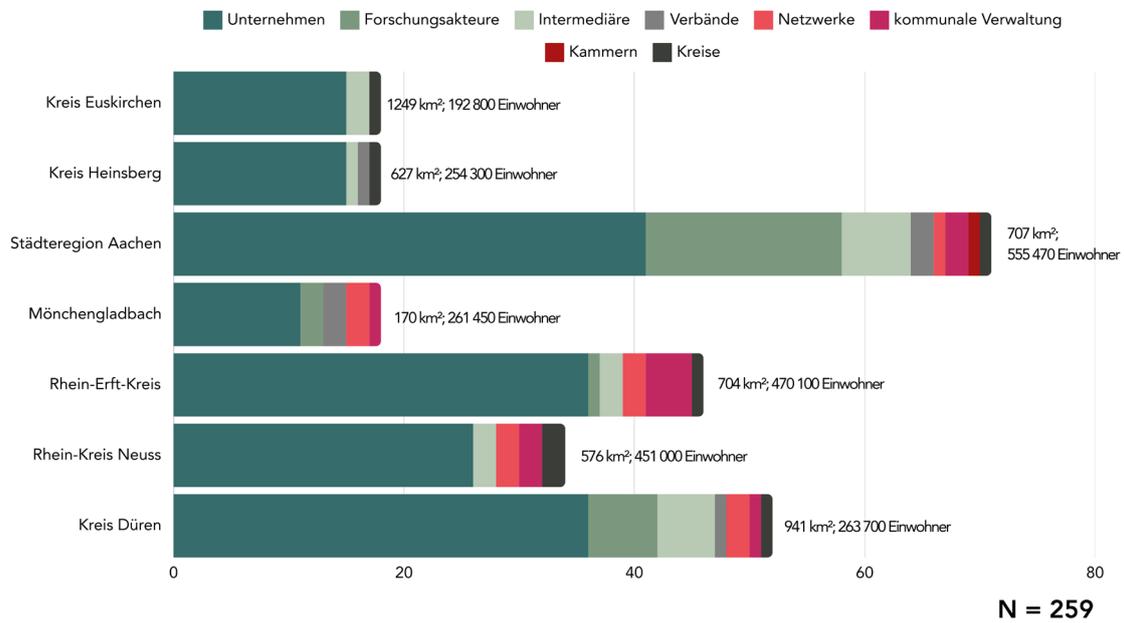


Abb. 7.2: Regionale Verteilung der für IN4climate.RR relevanten Stakeholderkategorien nach Kreisen

In Abbildung 7.3 wird deutlich, dass die Anzahl der identifizierten Unternehmen im Bereich Kohlenstoff höher war als im Bereich Wasserstoff, aber deutlich geringer als im Bereich zirkuläre Wertschöpfung.

Regionale Verteilung der identifizierten Unternehmen, nach Zukunftslaboren

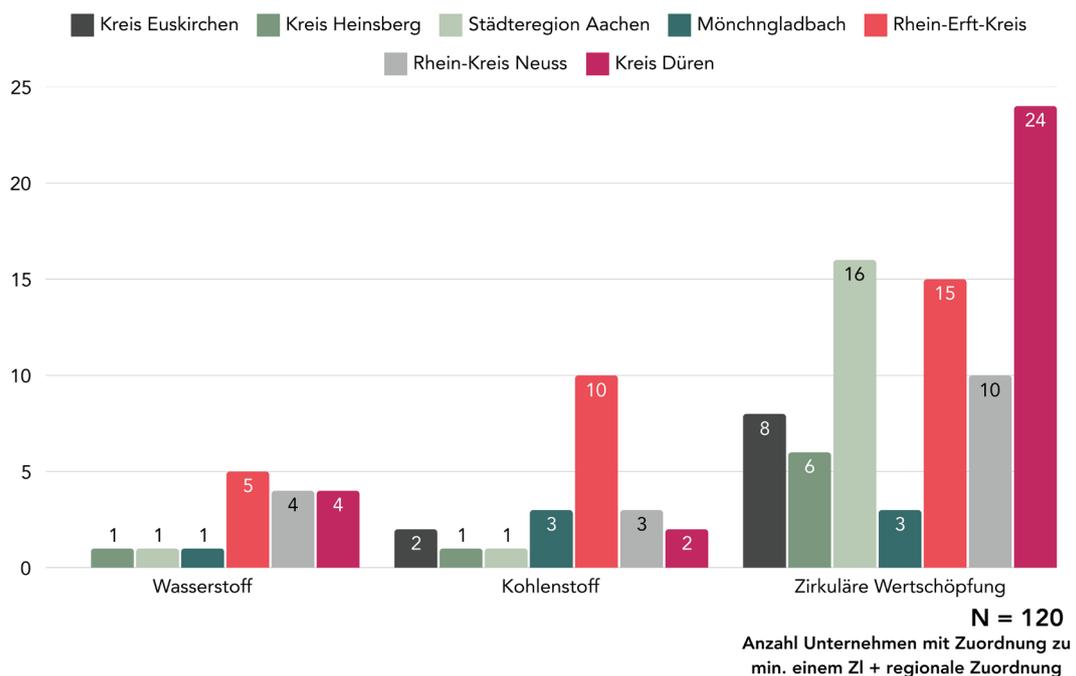


Abb. 7.3: Regionale Verteilung der relevanten Unternehmen aus der internen Stakeholderanalyse

Diese Stakeholderanalyse war für In4climate.RR ein erster Ansatz, um mit regionalen Akteuren ins Gespräch zu kommen. Die identifizierten Stakeholder wurden zu einer Auftaktveranstaltung im Juni 2022 nach Bergheim eingeladen.

Auftaktveranstaltung am 22.06.2022 in Bergheim

In dieser Auftaktveranstaltung ging es darum, mit den anwesenden Akteur:innen eine Idee zu entwickeln, welche Themen zur Kohlenstoffwirtschaft einen konkreten Mehrwert für die Investition in klimaneutrale Wertschöpfung im Revier haben könnten.

Das Projektteam von IN4climate.RR ging mit folgenden Kernthesen in die Diskussion:

- In einer klimaneutralen Industrie 2045 wird es (im Gegensatz zu anderen Regionen in NRW) keine zentralen CO₂-Punktquellen auf fossiler Basis mehr geben
- Es gibt keine Planungen zu CO₂-Leitungen durch das Rheinische Revier (OGE, o. J.)⁹⁵
- Es ist ein massiver Bedarf an nicht-fossilem Kohlenstoff für die stoffliche Nutzung und Verarbeitung im Revier absehbar

Dazu wurde die für das Zukunftslabor zentrale Frage gestellt:

- Welche Rolle wird das Rheinische Revier in einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft haben?
- Wird Biomasse aus der Landwirtschaft auch für stoffliche Nutzungspfade (z. B. in der Chemieindustrie) bereitgestellt?
- Wird es weitere Produktionsstandorte für Zwischenprodukte auf biogener Basis für die chemische Industrie im Revier geben?
- Ist der Anlagen- und Komponentenbau für die Bereitstellung und Verarbeitung von grünem Kohlenstoff eine Option für das Revier?
- Ist das Revier ein zukünftiger Forschungsstandort nachhaltiger Kohlenstoffverarbeitung und -anwendung?

Aus der Diskussion heraus wurden eine Vielzahl von Ideen und Fragen generiert, die zu ersten Ideen einer Arbeit im Zukunftslabor Kohlenstoffwirtschaft umgearbeitet wurden:

Tabelle 7.2: Ergebnisse des Workshops vom 22.06.2022 zur Kreislaufführung von Kohlenstoff

<p>Thema 1: Kreislaufführung von Kohlenstoff als Voraussetzung für die Nutzung von prozessbedingten CO₂-Mengen</p>
<p>Die Nutzung von CO₂ aus fossilen Quellen (z. B. aus der Zementherstellung) ist nur klimaneutral, wenn der Kohlenstoff im Produkt am Ende des Lebenszyklus nicht in die Atmosphäre gelangen kann.</p>
<p>Welche Rolle dabei die Kreislaufführung von Kohlenstoff (neben anderen Optionen) spielen kann und welche Rolle das Rheinische Revier in einer solche Kreislaufführung führen kann, wäre ein mögliches Themenfeld für ein Zukunftslabor Kohlenstoffwirtschaft.</p>

⁹⁵ Inzwischen plant OGE mit dem North Sea CO₂ Korridor eine Belgienanbindung des CO₂-Netzes durch das Rheinische Revier <https://oge.net/de/co2/co2-netz>

Am Ende steht eine Darstellung der möglichen Kreislaufwege und -technologien sowie eine Einschätzung von Potentialen für Investitionen im Rheinischen Revier.

Bei diesem Thema überschneiden sich die Bereiche der Zukunftslabore Zirkuläres Wirtschaften und Kohlenstoffwirtschaft, eine gemeinsame Bearbeitung wäre zu überlegen.

Tabelle 7.3: Ergebnisse des Workshops vom 22.06.2022 zur Rolle und Potential der Biomassenutzung

Thema 2: Rolle und Potentiale der Biomassenutzung in einer Kohlenstoffwirtschaft im Rheinischen Revier
Anbau- und Abfallbiomasse kann in vielen Bereichen der klimaneutralen Gesellschaft eine wichtige Rolle spielen.
Dazu gehört die Lebens- und Futtermittelproduktion, die Bioökonomie, die Strom- und Wärmeerzeugung oder die Realisierung von negativen Emissionen.
Es gibt derzeit keine systemübergreifende Abschätzung, welche Biomassen in welchen Mengen in welchen Pfaden einer klimaneutralen Industrie im Rheinischen Revier genutzt werden können.
In dem Zukunftslabor Kohlenstoffwirtschaft können verschiedene Nutzungsszenarien auf Basis einer Energiesystemmodellierung des Rheinischen Reviers miteinander verglichen und diskutiert werden.
Ergebnis wäre eine gemeinsame Sichtweise, welche Pfade die meisten Wertschöpfungspotentiale für das Rheinische Revier haben könnten und wo sich Investitionen in klimaneutrale Wertschöpfung besonders lohnt.

Tabelle 7.4: Ergebnisse des Workshops vom 22.06.2022 zu zukünftigen Wertschöpfungsketten

Thema 3: Betrachtung zukünftiger Wertschöpfungsketten der Kohlenstoffwirtschaft
Im Zukunftslabor werden mögliche zukünftige Wertschöpfungsketten einer zukünftigen Kohlenstoffwirtschaft identifiziert.
Diese zukünftigen Wertschöpfungsketten werden schon laufende oder geplante Pilotprojekte zugeordnet und im Rahmen der Forschung von IN4climate.RR genauer beschrieben und analysiert.
Zusätzlich können technologische Insellösungen identifiziert und mit komplexeren Wertschöpfungsketten in Verbindung gebracht werden.
Aus diesen Analysen sollen mögliche Investitionspotentiale und Ideen für Pilotprojekte in den Bereichen generiert werden, die in der Wertschöpfungskette nötig, heute im Revier aber noch nicht vorhanden sind.

Tabelle 7.5: Ergebnisse des Workshops vom 22.06.2022 zur Analyse vielversprechender Technologien

Thema 4: Analyse vielversprechender Technologien und deren Komponenten einer klimaneutralen Industrie
Aus Klimaschutzszenarien lässt sich ableiten, für welche Technologien in einer klimaneutralen Industrie aus heutiger Sicht ein großes wirtschaftliches Potential zu erwarten ist.

Diese Technologien (zum Beispiel Direct Air Capture) bestehen aus einzelnen Technologiekomponenten, die zum Teil auch schon heute von Unternehmen im Rheinischen Revier hergestellt werden (z. B. Pumpen, Ventilatoren etc.).

Auf Basis einer Technologiekomponentenanalyse können diese Komponenten identifiziert und entsprechende Unternehmen im Rheinischen Revier gesucht werden, die eventuell diesen Zukunftsmarkt noch nicht erkannt haben.

Tabelle 7.6: Ergebnisse des Workshops vom 22.06.2022 zum Matchmaking

Thema 5: Matchmaking. Verbindung von Unternehmen und Organisationen
Für mittelständische Unternehmen ist es personell schwierig, neue Partner oder Geschäftskontakte in dem aufstrebenden Bereich einer klimaneutralen Industrie kennenzulernen.
Die Zukunftslabore könnten anhand der Arbeiten zu den Wertschöpfungsketten mögliche Überschneidungen und potentielle Kooperationen identifizieren und Angebote für ein Matchmaking zwischen verschiedenen Akteuren vorschlagen.
Die Durchführung entsprechender Matchmaking-Angebote wäre aber besser in IN4climate.RR selber als in den Zukunftslaboren angesiedelt.
Zielgruppen wären KMU – KMU, KMU - Venture Capital, KMU - Politik.

Sitzung am 08.11.2022 in Bergheim

In der ersten Sitzung des Zukunftslabors Kohlenstoff wurde den Teilnehmenden ein Prozessablauf vorgestellt (Abbildung 7.4). Dabei wurde illustriert, welche inhaltlichen Beiträge von IN4climate.RR beigesteuert werden können und an welchen Punkten eine gemeinsame Diskussion neue Ergebnisse bringen kann.

Teilnehmende Institutionen waren:

- Unternehmen: Pfeifer & Langen, Interzero Circular Solutions, Yncoris, Gebr. Eigelshoven, Carbon Service & Consulting, RWE Power
- Institutionen: AGIT, LANUV, Fachverband Biogas, Wald und Holz NRW, ChemCologne, Zweckverband West
- Forschung: Forschungszentrum Jülich, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, nova-Institut

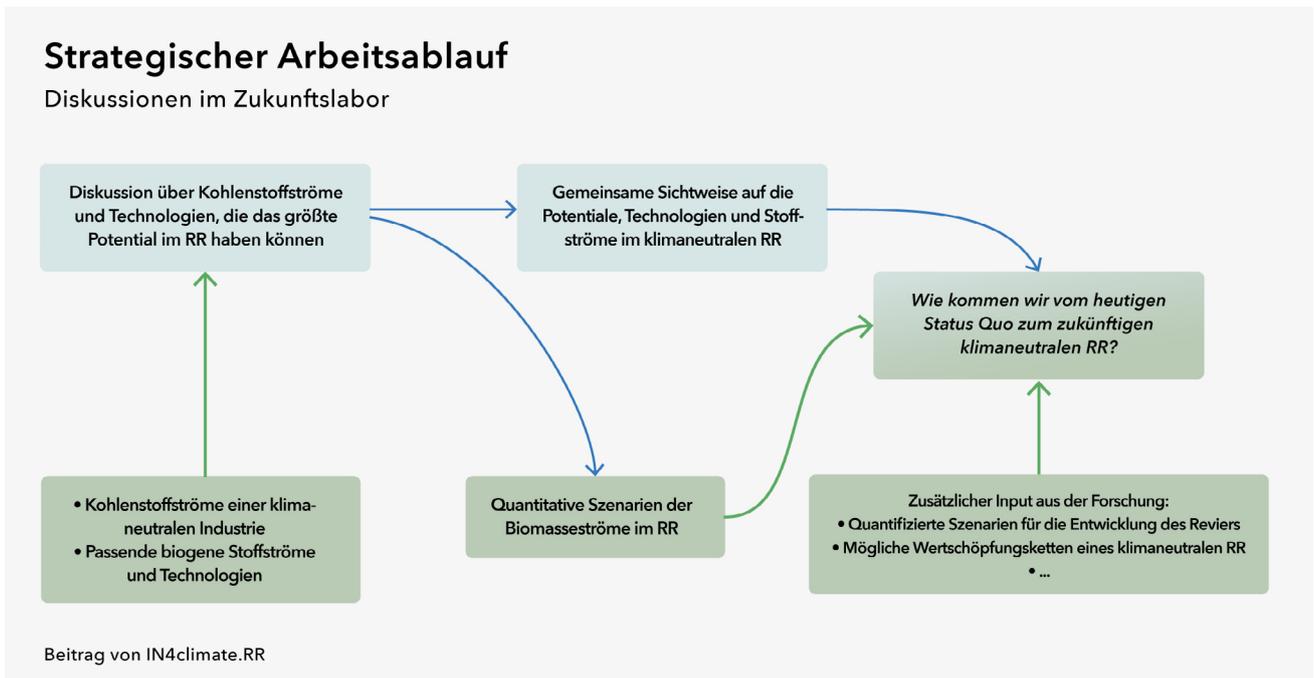


Abb. 7.4: Strategischer Arbeitsablauf des Zukunftslabors Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft vom 08.11.2022

Die Diskussion auf der Auftaktveranstaltung und der ersten Sitzung des Zukunftslabors macht deutlich, dass die Ebene einer Kohlenstoffwirtschaft mit ihren energetischen und stofflichen Komponenten von den Teilnehmenden nur teilweise und immer aus ihrem eigenen Blickwinkel verstanden wurde. Daher wurde beschlossen, die zentralen Pfade einer Kohlenstoffwirtschaft mit großen Veränderungspotentialen zu identifizieren (Abbildung 7.5), inhaltlich aufzubereiten und auf die Bedeutung im Rheinischen Revier hin zu untersuchen.

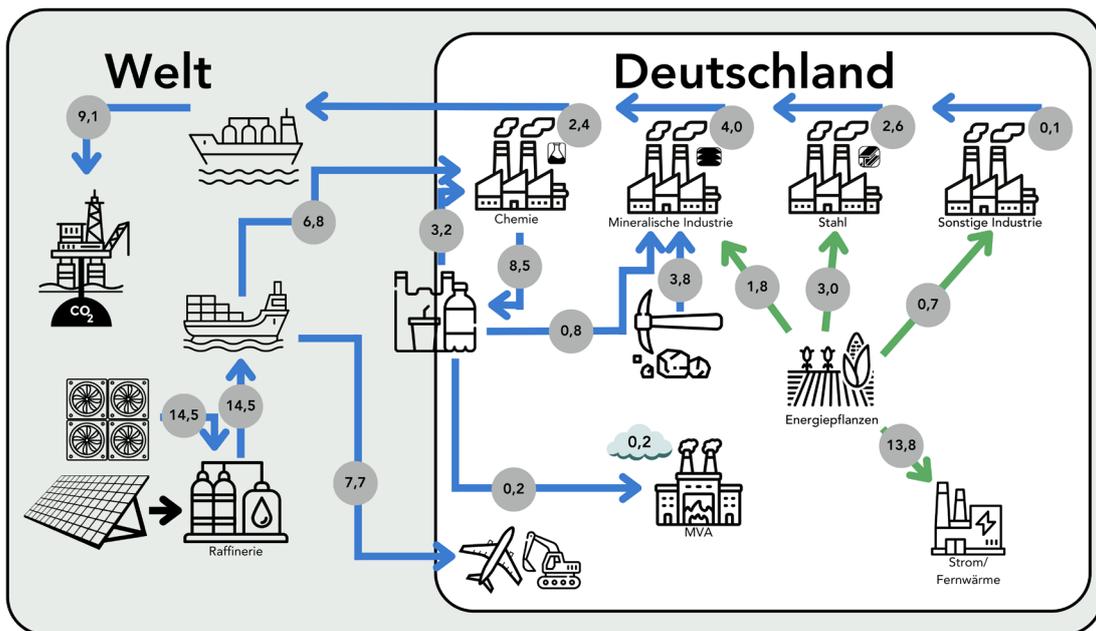


Abb. 7.5: Darstellung eines Kohlenstoffsystems einer klimaneutralen Industrie 2045 in Deutschland aus SCI4climate.NRW 2023a, modifiziert nach Ergebnissen der Sitzung des Zukunftslabors

Phase 1: Sitzung 2 – 4

Die Arbeit des Zukunftslabors läuft in definierten Phasen ab (siehe Abbildung 7.6). In den Sitzungen der ersten Phase wurden strukturiert die wichtigsten Rohstoffpfade einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft durchgearbeitet. Ziel war es, mit den Akteure*innen ein gemeinsames Verständnis für die systemischen Zusammenhänge zu erarbeiten und konkrete Umsetzungsoptionen im Revier zu identifizieren. In der zweiten Sitzung spielte das gerade erschienene Papier zur Biomassenutzung von NRW.Energy4climate (NRW.Energy4Climate (Hrsg.), 2023) eine zentrale Rolle und wurde hinsichtlich der Berührungspunkte zur Kohlenstoffwirtschaft diskutiert. Zusätzlich wurden ab der zweiten Sitzung Kurzvorträge zu aktuellen politischen Prozessen rund um die Kohlenstoffwirtschaft⁹⁶ angeboten, um den Akteuren einen zusätzlichen Anreiz zur Teilnahme zu geben. In der dritten Sitzung wurde das Thema Potentiale biobasierter Rohstoffe durch das nova-Institut und deren praktische Anwendung durch die Firma Pfeifer & Langen vorgestellt und diskutiert. In der vierten Sitzung wurde die Rolle von CCU/CCS im Kohlenstoffkreislauf vorgestellt und konkrete Projekte zur Kohlenstoffumwandlung bei RWE in Niederaußem betrachtet. Die Sitzungen fanden unter anderem bei RWE in Niederaußem und bei Pfeifer & Langen in Elsdorf statt. Dadurch wurde die Einbindung der Unternehmen in das Zukunftslabor gestärkt und es gab Gelegenheit zu Betriebsbesichtigungen.

Zwischenphase: Akteursbefragung

Nach der vierten Sitzung des Zukunftslabors Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft war es notwendig, die einzelnen teilnehmenden Personen nach ihren Fragen, Wünschen und konkreten Umsetzungsprojekten zu befragen. Dies geschah durch strukturierte Einzelinterviews mit allen Akteur*innen. Zentrale Fragestellungen waren:

- Welche Probleme und Hindernisse muss Ihre Organisation auf dem Weg der Transformation zur Klimaneutralität erreichen?
- Welche Strategien haben Sie für die Zukunft, um die Transformation im Bereich der Kohlenstoffwirtschaft voranzutreiben?
- Was brauchen Sie, um Ihre Hürden zu überwinden?
- Wie können wir als Koordinationsteam der IN4climate.RR Sie unterstützen? (z. B. Vernetzung zu anderen Akteuren)
- Was erwarten Sie vom ZL NKW? Welches Ziel/Welche Art von Produkt soll die nächste Phase des ZL NKWs haben (z. B. Veröffentlichungen etc.?)

Aus den Einzelgesprächen ergaben sich einige gemeinsame Sichtweisen der Akteure. Als gemeinsame Herausforderungen wurde der möglichst hochwertige Einsatz von Kohlenstoffströmen genannt, dabei wurde die rein thermische Verwertung als ein notwendiger, aber wenig wertschaffender Verwertungsweg gesehen. Zusätzlich wurden die fehlenden Erlösmöglichkeiten von Produkten ohne fossilen Kohlenstoffeinsatz als Hindernis genannt, das über veränderte politische Rahmenbedingungen und Förderungen überwunden werden sollte.

Besonders wertvoll wurden Beiträge der anderen Teilnehmenden, die Vernetzung und die konkreten Blicke in Unternehmen durch Werksführungen innerhalb der Sitzungen des Zukunftslabors gesehen. Als weitere Zielprodukte für das Zukunftslabor wurde die Fragestellung, wer welche Biomasse zur Verfügung hat, und die weitere Unterstützung bei der systemübergreifenden Sicht auf eine klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft gesehen.

96 Z. B. ein Vortrag zum Evaluationsbericht des Kohlendioxid-speicherungsgesetzes des Bundeswirtschaftsministeriums

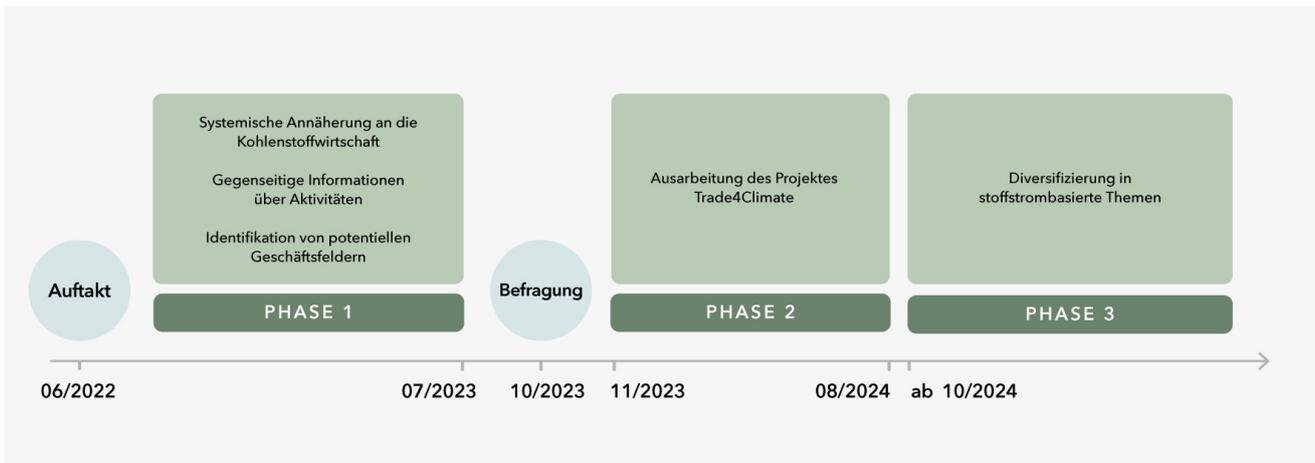


Abb. 7.6: Arbeitsphasen des Zukunftslabors Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft

Zentrale Erkenntnisse aus der ersten Phase

In der ersten Phase wurde eine Akteursgruppe zusammengestellt, die zentrale Optionen und Herausforderungen einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft im Rheinischen Revier identifizieren sollte. Aus der gemeinsamen Arbeit wurden folgende zentrale Erkenntnisse gewonnen:

Kohlenstoffwirtschaft ist branchenübergreifend und umfasst eine Vielzahl von Akteuren. Das Element Kohlenstoff ist heute in so vielen Wirtschaftsaktivitäten und Rohstoffpfaden präsent, dass ein übergreifender Blick auf die Kohlenstoffwirtschaft eine sehr große und heterogene Gruppe von Akteuren benötigt, die alle ihre eigene spezielle Sicht auf Teile der Wertschöpfungskette haben.

Es gibt Überschneidungen zu anderen Themen, die aber die Gesamtheit der Kohlenstoffwirtschaft nicht im Blick haben. Teilbereiche der Kohlenstoffwirtschaft, wie die Bioökonomie, die Bereitstellung biogener Rohstoffe aus der Landwirtschaft oder die Papierherstellung, arbeiten mit Kohlenstoff und sind von der Transformation zur Klimaneutralität betroffen. Insbesondere im Rheinischen Revier sind diese Bereiche bereits fachlich gut erschlossen und werden von relevanten Akteuren aktiv bearbeitet. Die Zusammenhänge und Abhängigkeiten zukünftiger, klimaneutraler und nachhaltiger Kohlenstoffpfade sind den Akteuren derzeit aber noch nicht in notwendigem Umfang bewusst und spielen so vielfach noch keine Rolle in Investitionsentscheidungen von Unternehmen.

Die Systemzusammenhänge einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft sind hochkomplex, es braucht Zeit und wissenschaftlichen Input, damit Akteure diese Zusammenhänge miteinander diskutieren können. Akteure haben häufig ihren Blick nur auf ihren Ausschnitt der Kohlenstoffwertschöpfungskette. Dieser auf die eigene Wertschöpfungskette ausgerichtete Blick, ausgehend von der bisher linearen Nutzungsweise von Kohlenstoff, erschwert für einzelne Beteiligte die Erfassung von Potentialen und Hindernissen, die sich durch eine klimaneutrale Nutzung von Kohlenstoff eröffnen. Um diese komplexen Zusammenhänge zu verstehen und aus der eigenen Sichtweise bewerten zu können, sind Zeit, Dialog und wissenschaftlicher Input notwendig.

Die breite Aufstellung von Akteuren zur Diskussion des Kohlenstoffsystems erschwert die konkrete Projektumsetzung. Gespräche zu konkreten Projektumsetzungen brauchen

Akteure, die gemeinsame Interessen haben und bestenfalls räumlich oder über gemeinsame Stoffströme miteinander verbunden sind. Die Breite der Kohlenstoffwirtschaft führt dazu, dass viele Akteure so weit in der Wertschöpfungskette voneinander entfernt sind, dass gemeinsame Projekte nicht sinnvoll sind. Nach einer Identifikation der zukünftigen Wertschöpfungsketten ist es daher sinnvoll, Akteure aus der breiten Diskussion herauszuholen und auf Basis kürzerer Wertschöpfungskettenverknüpfungen oder gemeinsamer Stoffströme konkreter Projektideen zu diskutieren.

Die Auswirkungen der zukünftigen klimaneutralen Kohlenstoffwertschöpfung unterscheidet sich stark für Akteure mit einer direkten und einer indirekten Stoffstrombeziehung. Akteure mit einer direkten Stoffstrombeziehung sind zum Beispiel Chemieunternehmen, die bisher auf Basis von Rohöl chemische Vorprodukte bezogen haben. Diese Unternehmen müssen alternative Kohlenstoffquellen finden, die Umwandlung in ihre Produkte technisch umsetzen, sie logistisch bewältigen und für ihre Produkte auskömmliche Renditen erwirtschaften. Demgegenüber stehen Unternehmen, die mit diesen Vorprodukten arbeiten und, solange die Stoffeigenschaften sich nicht ändern, lediglich vor der Herausforderung stehen, steigende Vorproduktkosten auf ihre Endkunden umlegen zu können. Dadurch ist der Transformationsdruck auf die Unternehmen sehr unterschiedlich.

Phase 2: Sitzung 5 - 8

In den Sitzungen 5 – 8 haben die Akteure des Zukunftslabors an einem konkreten Umsetzungsprojekt gearbeitet. Aus der Akteursbefragung ergab sich ein Bedarf nach Informationen zu dem Angebot und der Nachfrage nach Kohlenstoffströmen, da im Verlauf der Transformation in eine klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft dort große Potentiale, aber auch große Unsicherheiten gesehen wurden. Oft lässt sich ein fossiles Ausgangsprodukt nicht eins zu eins durch ein nicht-fossiles ersetzen. Daher stehen viele Unternehmen vor der großen Herausforderung, die eigene Prozesskette auf neue Rohstoffe umzustellen. Da diese neuartigen Rohstoffquellen sehr vielfältig sind und in etablierten Prozessen oft nicht ohne Umwandlungen direkt eingesetzt werden können, ist eine Verknüpfung von Anbieter und Abnehmer nicht trivial. Gleichzeitig ergibt sich auf Grund der absehbar steigenden Nachfrage von nicht-fossilem Kohlenstoff ein neuer Markt für Produkte und Reststoffe, die bisher einer geringeren Wertschöpfung zugeführt wurden.

Daher wurde das Projekt Trade4climate im Zukunftslabor entwickelt, um als Mittler zwischen den Kohlenstoffangeboten und -bedarfen der Industrie im Rheinischen Revier eingesetzt zu werden (IN4climate.RR, 2025). Trade4climate ermöglicht den Mitgliedern, ihre Gesuche und Angebote von Kohlenstoffströmen auf einer Plattform sichtbar zu machen. Gleichzeitig unterstützen die Betreibenden von Trade4climate bei der Vermittlung von passenden Kohlenstoffströmen durch ihr Know-How über Technologien und Prozesswege, um existierende kohlenstoffhaltige Rohstoffe und Nebenprodukte eines Unternehmens in passende benötigte Ausgangsstoffe eines anderen Unternehmens umzuwandeln.

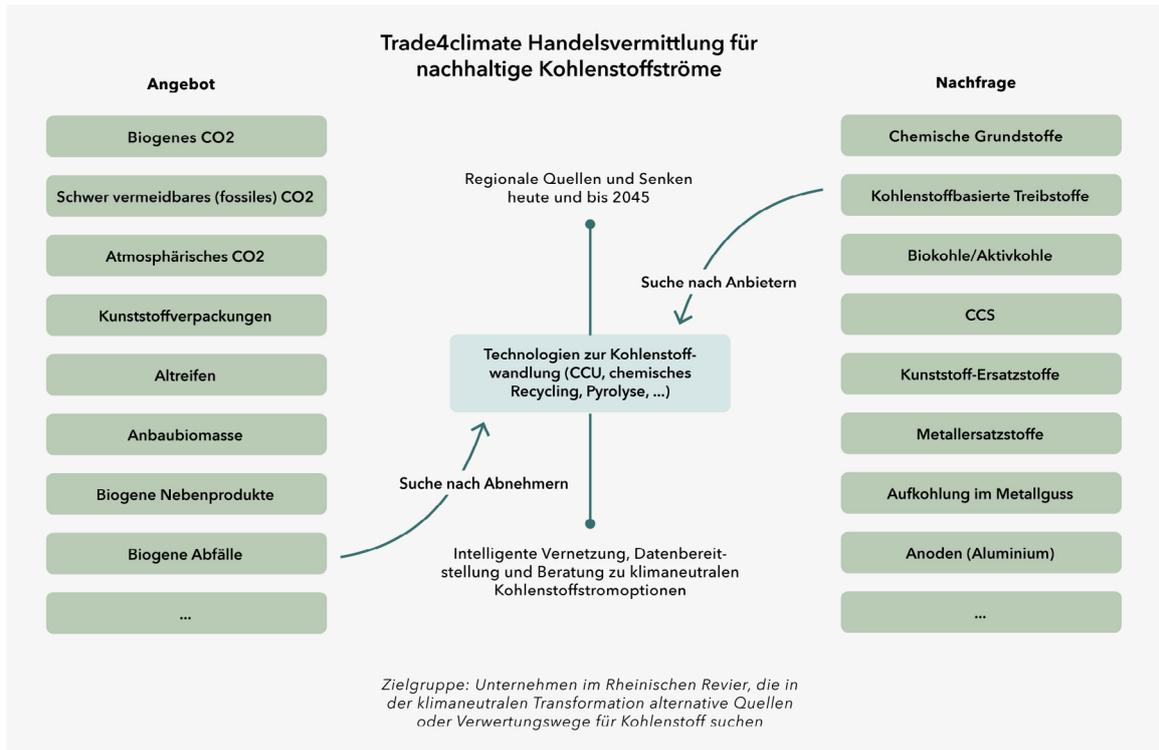


Abb. 7.7: Struktur des Projektvorschlags Trade4Climate

In Abbildung 7.7 wird die Struktur und die Betrachtungsweise von Trade4climate sichtbar (In4climate.RR, 2025). Es geht um die Verknüpfung von unterschiedlichen Kohlenstoffangeboten mit den Bedarfen der Kohlenstoffwirtschaft im Rheinischen Revier. Da sich der Einsatz von Kohlenstoff im Rahmen der Transformation zur Klimaneutralität sehr verändern wird, braucht es einen Vermittler, der diese Ströme verknüpft und auch zukünftig andere Verknüpfungen heute schon mitdenkt und aktiv unterstützt. Um die Attraktivität zur Teilnahme an Trade4climate zu erhöhen, soll eine umfassende Datenbank mit Kohlenstoffangeboten und Nachfragemengen, sowie eine beratende und unterstützende Funktion bei der ESG Berichterstattung Teil der Plattform sein (Abbildung 7.8). Dieser Projektvorschlag wird aktuell mit Akteuren in Nordrhein-Westfalen diskutiert und Möglichkeiten zu einer Umsetzung werden geprüft.



Abb. 7.8: Baukastenprinzip von Trade4Climate

7.6 Ausblick

Die Erkenntnisse der ersten Phase zeigen, dass eine weitere Konkretisierung der akteursbasierten Arbeit im Zukunftslabor nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft einen geänderten Ansatz und eine geänderte Zusammensetzung der Akteure erfordert. Die Herausforderung besteht darin, Akteurszusammensetzungen auf Basis von konkreten Stoffströmen oder Wertschöpfungsketten zu ermitteln und daraus Projekte und Allianzen mit direktem Umsetzungspotential zu identifizieren. Inzwischen ist dies auch möglich, da im Zukunftslabor ein umfassender Überblick über die Kohlenstoffwirtschaft erarbeitet wurde, der zur Identifikation solcher Allianzen und zum Start zukunftsweisender Projekte notwendig war. Einerseits wird die Herausforderung der klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft durch Formate wie In4climate.RR oder In4climate.NRW inzwischen besser verstanden. Andererseits hat auch die Politik eine deutliche Entwicklung durchlaufen, wobei die Diskussion zur nationalen Carbon-Management-Strategie ein sehr prominentes Beispiel darstellt. Zusätzlich werden durch die vielen Unternehmenskontakte und -gespräche im Rheinischen Revier die möglichen Ansatzpunkte und Chancen besser verstanden. Daher wurden im Rahmen der Forschungs- und Entwicklungsarbeit vier Themen identifiziert, die in einer veränderten Akteurszusammensetzung in Zukunft im Rahmen des Zukunftslabors weiter vertieft werden sollen:

CO₂-Abscheidung an Biogasanlagen: Viele bestehende Biogasanlagen im Rheinischen Revier und bundesweit stehen vor der Herausforderung, dass die Förderung durch die EEG-Umlage in den kommenden Jahren ausläuft. Dadurch könnte das Geschäftsmodell gefährdet werden und eine für die Transformation wichtige Technologie aufgrund wirtschaftlicher Zwänge vom Markt verschwinden. Dennoch bieten diese Anlagen eine wertvolle Quelle für die Gewinnung von grünem Kohlenstoff, sofern ein neues Geschäftsmodell entwickelt wird. Bei der Aufbereitung von Biogas, das zu etwa gleichen Teilen aus Methan und CO₂ besteht, ist die CO₂-Ab-

scheidung ein zentraler Prozessschritt zur Herstellung von Biomethan. Wenn es gelingt, das abgetrennte CO_2 zu vermarkten und sinnvoll als Rohstoffquelle zu nutzen, können die heute in die Atmosphäre abgegebenen Emissionen reduziert und eine Quelle für grünen Kohlenstoff erschlossen werden. Da dieses CO_2 biogenen Ursprungs ist, besteht zudem die Möglichkeit, negative Emissionen zu erzeugen. Das durch die Abscheidung gereinigte Methan kann industriell genutzt oder als grüner Energieträger an schwer elektrifizierbaren Orten oder solchen mit eingeschränkter Wasserstoffversorgung eingesetzt werden. Somit könnten Biomethananlagen nicht nur wirtschaftlich attraktiver werden, sondern auch einen bedeutenderen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten, indem sie als CO_2 -Senken fungieren und zusätzlich grüne Energieträger bereitstellen. Um diese Ziele zu erreichen, sind neue Partnerschaften notwendig, da die räumliche Nähe von Erzeugung und Nutzung eine effiziente Infrastruktur und Kostenvorteile ermöglicht. Zudem müssen Unternehmen zusammengebracht werden, die heute noch nicht in gemeinsamen Wertschöpfungsketten verbunden sind. Gemeinsam mit relevanten Akteuren soll erörtert werden, welche Modifikationen an bestehenden Anlagen erforderlich sind und wie eine geeignete CO_2 -Infrastruktur gestaltet werden muss, damit grüner Kohlenstoff in Biogasanlagen effizient für die Industrie gewonnen werden kann. Das Zukunftslabor plant daraufhin, Empfehlungen zu erarbeiten, wie diese Infrastruktur optimal gestaltet werden kann, um die Nutzung von grünem Kohlenstoff zu maximieren und negative Emissionen zu erzeugen. Dazu sollen Wirtschaftlichkeitsanalysen für Anlagen unterschiedlicher Größen und Vergleiche verschiedener Abscheidetechnologien durchgeführt werden. Parallel dazu wird ein Pilotprojekt angestrebt, das diese Möglichkeiten in der Praxis untersucht.

Geschlossene Kreislaufführung von Kohlenstoff aus der Technosphäre: Die voraussichtlich verfügbaren Mengen an Kohlenstoff aus der Biosphäre und der Atmosphäre werden den Bedarf der heimischen Industrie nicht decken können. Ein Import, der auch in Zukunft notwendig bleibt, birgt Unsicherheiten und bringt keine lokale Wertschöpfung. Dagegen kann die Nutzung von Kohlenstoff, der bereits in der Technosphäre vorhanden ist, diese Abhängigkeit verringern, die Resilienz von Unternehmen und der Region stärken und gleichzeitig eine Grundlage für eine heimische Wertschöpfungskette schaffen. Dieser Kohlenstoff stammt überwiegend aus fossilen Quellen. In einer klimaneutralen Industrie muss dieser Kohlenstoff so genutzt werden, dass die Kreisläufe gegenüber der Atmosphäre geschlossen bleiben oder eventuelle Verluste durch klimaneutralen Kohlenstoff ersetzt werden. Auch im Rheinischen Revier gibt es bereits eine große, unzureichend genutzte Kohlenstoffquelle, die zur Reduzierung unserer fossilen Abhängigkeit beitragen könnte, wenn Produkte aus der Technosphäre im Kreislauf geführt werden. Es gibt bereits einige Beispiele für solche Produktkreisläufe, doch diese sind im Vergleich zu fossilen Wertschöpfungsketten noch nicht wettbewerbsfähig. Um ein Positivbeispiel für das Potential der Kreislaufführung von Kohlenstoff aus der Technosphäre zu schaffen, plant das Zukunftslabor die Bildung eines Konsortiums entlang einer konkreten Wertschöpfungskette, das diese auf eine Kreislaufführung umstellt. Ein Beispiel könnte eine Altreifenpyrolyse sein, die mit der Herstellung von Neureifen und einem Rücknahmesystem gekoppelt wird, um einen geschlossenen, im Revier verankerten Kohlenstoffkreislauf zu realisieren. Beteiligt sein könnten Altreifenverwerter, die chemische Industrie, Anbieter von chemischem Recycling und Startups mit Methoden zur digitalen Produktnachverfolgung. Zunächst soll dieser Kreislauf in Zusammenarbeit mit den Akteuren möglichst detailliert beschrieben und eine Machbarkeitsstudie initiiert werden. Schließlich wird angestrebt, diesen Kreislauf in einem gemeinsamen Projekt mit den Teilnehmenden zu schließen.

Technischer Einsatz fester Kohlenstoffe: Mit dem Wegfall der Kohle als Rohstoff verlieren zahlreiche Wirtschaftszweige wie die chemische Industrie, Metallurgie sowie die Elektro- und Elektromobilitätsindustrie einen strategisch wichtigen, oft unersetzlichen Ausgangs- oder Prozessstoff.

Diese Herausforderung wird in den aktuellen Transformationsbemühungen, insbesondere angesichts der Tatsache, dass pyrolysierte Biomasse (auch Biokohle genannt) für viele Anwendungen noch ungeeignet ist, nicht ausreichend berücksichtigt. Reiner fester Kohlenstoff existiert in verschiedenen Formen, von denen einige als kritische Rohstoffe gelten und für viele Industriezweige und zukünftige Anwendungen nicht substituierbar sind. Ein Beispiel dafür ist Graphit, bei dem eine nahezu vollständige Importabhängigkeit besteht, verbunden mit einer extrem hohen Marktkonzentration. In einer klimaneutralen Industrie muss dieser Rohstoff durch nachhaltige Alternativen ersetzt werden. Biokohle oder Carbon Black aus einfachen Pyrolyseprozessen verfügen jedoch nicht über die erforderlichen Eigenschaften, um beispielsweise als Elektroden oder Reduktionskoks für die Stahlindustrie eingesetzt zu werden, was einen erheblichen Forschungsbedarf nach sich zieht. Um fundiertes Wissen über den technischen Einsatz fester Kohlenstoffe aufzubauen, soll ein Konsortium gegründet werden, das heutige und potenzielle zukünftige Produzenten sowie Abnehmer verschiedener fester Kohlenstoffe umfasst. Ein geeigneter Kommunikationskanal, beispielsweise ein Whitepaper, soll entwickelt werden, um die Relevanz des Themas zu vermitteln. Zudem sind Workshops geplant, um weiteres Wissen zu verbreiten. Dabei ist es unerlässlich, den wichtigen Unterschied zwischen einer Defossilisierung und einer Dekarbonisierung der Industrie hervorzuheben und öffentlich zu kommunizieren. Darüber hinaus sollen im Konsortium alternative Produktionsmethoden identifiziert und Anwendungsbeispiele präsentiert werden, bei denen fester Kohlenstoff in einem Produkt oder Prozess durch eine nachhaltige Quelle ersetzt wurde oder ein geeigneter Ersatzstoff gefunden wurde.

Konkurrenzsituation biogener Rohstoffe: Biogene Rohstoffe bieten vielfältige Nutzungsmöglichkeiten, wie es auch in der heutigen Landwirtschaft praktiziert wird. Dabei wird jedoch die Ackerfläche als vorgelagerte Ressource nicht immer optimal genutzt. Dies liegt zum einen an unterschiedlichem Wissen über Ressourcenverbrauch, Energieeffizienz und Wertschöpfungspotentiale entlang der Wertschöpfungskette, zum anderen an den variierenden ökonomischen Interessen der beteiligten Akteure. Das ZL NKW kann bei der Entwicklung einer systemischen Sichtweise mitwirken, die eine fundierte Beurteilung von Prozesspfaden und Projekten ermöglicht. Zwar wurden bereits Strategien zur Nutzung von Biomasse ausgearbeitet, zuletzt in der Nationalen Biomassestrategie (NaBiS) (BMUV, 2022), doch die Umsetzung gestaltet sich schwierig. Oftmals behindern die bestehenden ökonomischen Rahmenbedingungen eine effektivere Umwidmung der Biomasseströme. Die ökonomischen und regulatorischen Rahmenbedingungen, die die Nutzungspfade biogener Rohstoffe bestimmen, werden meist nicht im Rheinischen Revier, sondern häufig auf europäischer Ebene festgelegt. Dennoch kann das ZL NKW den Dialog mit Akteuren im Rheinischen Revier fördern und herausarbeiten, welche Rahmenbedingungen Verhaltensänderungen begünstigen oder behindern und welche Stellschrauben entsprechend angepasst werden sollten. Der Kreis der beteiligten Akteure könnte dabei vor allem die Landwirtschaft sowie potenziell erweiterte Nutzergruppen landwirtschaftlicher Produkte umfassen.

7.7 Literatur

BMUV. (2022). *Eckpunkte für eine Nationale Biomassestrategie (NABIS)*. https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/nabis_eckpunkte_bf.pdf

IN4climate.NRW. (o. J.). *Webseite zum Thinktank IN4climate.NRW - NRW.Energy4Climate*. Abgerufen 18. September 2024, von <https://www.energy4climate.nrw/industrie-produktion/in4climatenrw/>

IN4climate.NRW. (2020). *Unvermeidbare CO₂-Entstehung in einer klimaneutralen Grundstoffindustrie NRW - Definition und Kriterien. Diskussionspapier der Arbeitsgruppe Kohlendioxidwirtschaft*. Gelsenkirchen. https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/Ergebnisse_IN4climate.NRW/2020/in4climatenrw-diskussionspapier-unvermeidbare-co2-entstehung-web.pdf

IN4climate.NRW. (2021). *CO₂ in einer klimaneutralen Grundstoffindustrie: Infrastrukturanforderungen für NRW - Diskussionspapier der Arbeitsgruppe Kohlenstoffdioxidwirtschaft*. Gelsenkirchen. https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/Ergebnisse_IN4climate.NRW/2021/in4climatenrw-diskussionspapier-co2-in-klimaneutraler-grundstoffindustrie.pdf

IN4climate.NRW. (2022). *Impuls: Nationaler Planungsprozess für eine CO₂-Transportinfrastruktur. Diskussionspapier der Initiative IN4climate.NRW*. Düsseldorf. https://sci4climate.nrw/wp-content/uploads/2023/12/Glasner-et-al._IN4climate.nrw-2022_Nationaler-Planungsprozess-fuer-eine-CO2-Transportinfrastruktur.pdf

IN4climate.RR. (o. J.). *Webseite Home—IN4climate.RR*. Abgerufen 8. Oktober 2024, von <https://www.rheinisches-revier.nrw/>

IN4climate.RR. (2024). *IN4climate.RR - Projektstand 12/2023*. https://www.rheinisches-revier.nrw/fileadmin/user_upload/IN4climateRR_Projektstand122023_cr_IN4climateRR.pdf

IN4climate.RR. (2025). *Trade4climate: Ein Konzeptpapier des Zukunftslabors Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft des Projektes IN4climate.RR*. IN4climate.RR. https://www.rheinisches-revier.nrw/fileadmin/user_upload/2025_Trade4Climate_cr-IN4climateRR.pdf

InvKG - *Investitionsgesetz Kohleregionen* (2020). <https://www.gesetze-im-internet.de/invkg/BJNR179510020.html>

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. (2015). *Klimaschutzplan Nordrhein-Westfalen—Klimaschutz und Klimafolgenanpassung*. Düsseldorf. https://www.klimaschutz.nrw.de/fileadmin/Dateien/Download-Dokumente/Broschueren/klimaschutzbericht_nrw_151201.pdf

NRW.Energy4Climate. (o. J.). *Industriepakt—NRW.Energy4Climate*. Abgerufen 18. September 2024, von <https://www.energy4climate.nrw/industrie-produktion/in4climatenrw/industriepakt>

NRW.Energy4Climate (Hrsg.). (2023). *Nachhaltiger Einsatz von Biomasse—Die Rolle von Biomasse in der Energiewende und in einer klimaneutralen Industrie*. Düsseldorf. <https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Industrie-Produktion/Der-nachhaltige-Einsatz-von-Biomasse-cr-nrwenergy4climate.pdf>

OGE. (o. J.). *CO₂-Transportnetz*. Abgerufen 18. September 2024, von <https://oge.net/de/co2/co2-netz>

SCI4climate.NRW. (o. J.). *Webseite des Projekts SCI4climate.NRW – NRW Science for Climate*. Abgerufen 18. September 2024, von <https://sci4climate.nrw/>

SCI4climate.NRW. (2020). *Einsatz von CCU-Technologien zur Reduktion von Treibhausgasemissionen in Nordrhein-Westfalens Chemieindustrie—Modellentwurf und Technologiealternativen*. Lehrstuhl für technische Thermodynamik, RWTH Aachen; Energy & Process Systems Engineering, ETH Zürich. https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/Ergebnisse_SCI4climate.NRW/Produkte_und_Wertschoepfungsketten/sci4climate-web-modellentwurf-und-technologiealternativen.pdf

SCI4climate.NRW. (2021a). *CO₂-Entstehung der Industrie in einem klimaneutralen NRW - Impuls für eine Infrastrukturgestaltung*. https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/Ergebnisse_SCI4climate.NRW/Szenarien/2020/co2-entstehung-der-industrie-in-einem-klimaneutralen-nrw-impuls-fu__r-eine-infrastrukturgestaltung-cr-sci4climatenrw.pdf

SCI4climate.NRW. (2021b). *IN4climate.NRW als „Intermediär“ - Eine empirische Betrachtung der Funktionen von IN4climate.NRW bei der Transformation zur Klimaneutralität der Industrie in Nordrhein-Westfalen*. Institut der deutschen Wirtschaft (IW); Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie. https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/Ergebnisse_SCI4climate.NRW/Rahmenbedingungen/sci4climate.nrw-2021-in4climate.nrw-als-intermediaer-cr-sci4climatenrw.pdf

SCI4climate.NRW. (2021c). *Planungs- und zulassungsrechtliche Aspekte für den Ferntransport von Wasserstoff und Kohlendioxid in Deutschland*. Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT. https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/Ergebnisse_SCI4climate.NRW/Technologie_und_Infrastrukturen/planungs-und-zulassungsrechtliche-aspekte-fuer-den-ferntransport-von-wasserstoff-und-kohlendioxid-in-deutschland-cr-sci4climatenrw.pdf

SCI4climate.NRW. (2023a). *SCI4climate.NRW 2018-2022: Forschung für eine klimaneutrale und zukunftsfähige Industrie. Abschlussbericht*. Aachen, Düsseldorf, Köln, Oberhausen, Wuppertal. <https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/8498>

ZRR – Zukunftsagentur Rheinisches Revier (Hrsg.). (o. J.). *Bewerbungsprozess: Auswahl- und Qualifizierungsphase – Sterneverfahren zur Auswahl der Projektskizzen*. Zukunftsagentur Rheinisches Revier GmbH. Abgerufen 18. September 2024, von <https://www.rheinisches-revier.de/revier-gestalten/wie-bewerbe-ich-mich-mit-meiner-projektidee/>

TEILBERICHT VIII



Übersicht aktueller politischer Prozesse zur Kohlenstoffwirtschaft

8.1 Einführung: Aktuelle politische Prozesse zur Kohlenstoffwirtschaft

Die Realisierung einer nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft erfordert die Unterstützung durch einen regulatorischen Rahmen. Gegenwärtig finden auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene verschiedene Prozesse zur Etablierung entsprechender Rahmenseetzungen statt. Diese Richtlinien, Gesetze und Langfriststrategien werden maßgeblich beeinflussen, welche Technologien und Infrastrukturen für einen klimaneutralen Umgang mit Kohlenstoff zum Einsatz kommen werden. Das Wissen über politische Weichenstellungen ist somit eine wichtige Voraussetzung für eine Auseinandersetzung mit Zukunftsfragen im Bereich Kohlenstoff. Eine konsistente Regulierung ist eine Grundvoraussetzung für Investitionsentscheidungen von Unternehmen, zumal die Technologien und Infrastruktur für das Kohlenstoffmanagement wesentlich durch private Akteure aufgebaut werden sollen.

8.2 Studienauftrag für den Teilbericht VIII

In diesem Teilbericht werden der Stand der zentralen politischen Prozesse auf nationaler und EU-Ebene zusammengefasst. National wird der Prozess der Carbon Management Strategie, der Negativemissionsstrategie und die Novellierung des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes betrachtet. Auf EU-Ebene wird die EU Industrial Carbon Management Strategy genauer analysiert. Zusätzlich wird der Inflation Reduction Act der USA in Bezug auf Kohlenstofftechnologien wie Direct Air Capture betrachtet.

8.3 Methodik und Systemgrenzen

In diesem Bericht wird der Stand der zentralen politischen Prozesse im Bereich des Kohlenstoffmanagements im für Deutschland relevanten Mehrebenen-Governance System zusammengefasst. National werden der Prozess der Carbon Management-Strategie (CMS), der Langfriststrategie Negativemissionen (LNe) und die Novellierung des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes betrachtet. Daneben wird die Bundesagentur für Sprunginnovationen (SPRIND) dargestellt, die mit dem Ziel der Förderung von disruptiven Innovationen, auch im Bereich des Kohlenstoffmanagements, gegründet wurde. Auf der Ebene der Länder werden die Carbon Management-Strategien von Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen beschrieben. Auf der EU-Ebene wird die EU Industrial Carbon Management Strategy genauer analysiert. Zusätzlich wird ein Blick außerhalb Europas auf den Inflation Reduction Act der USA geworfen, mit dem auch Kohlenstofftechnologien wie CCS und CCU gefördert werden.

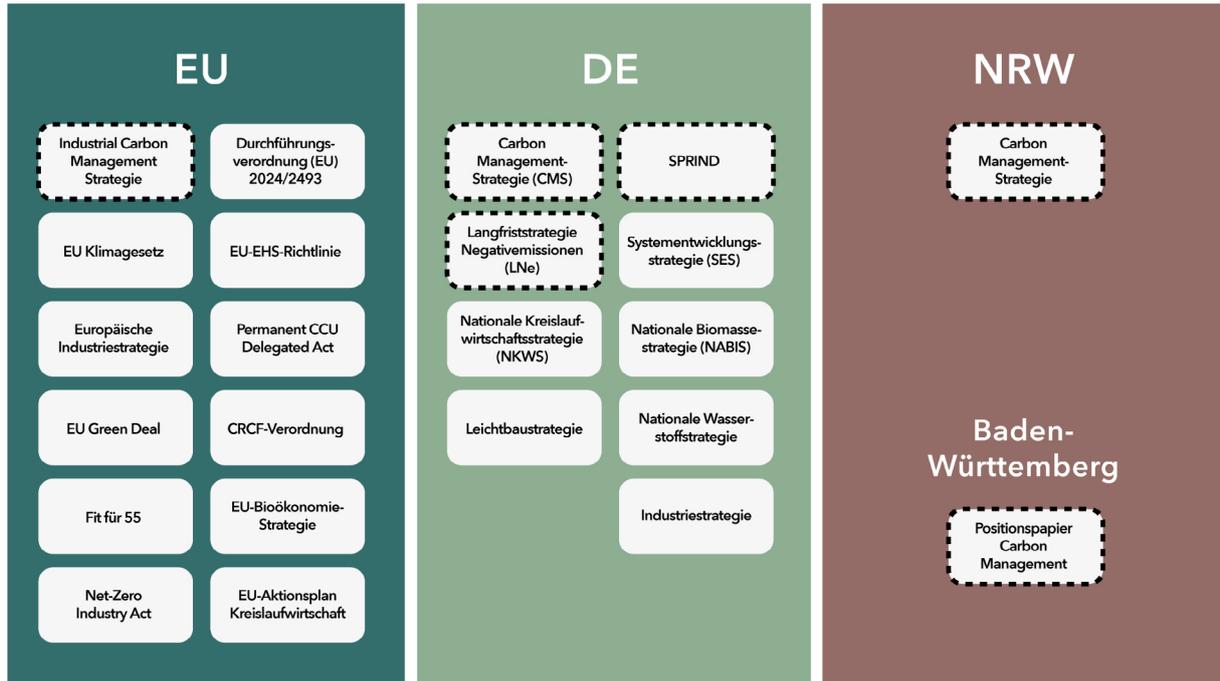


Abb. 8.1: Politische Instrumente mit Bezug zur Kohlenstoffwirtschaft
(Quelle: eigene Darstellung)

Anmerkung: Die eingerahmten Politikinstrumente werden vertieft dargestellt

Bei den hier dargestellten Strategien und Gesetzesänderungen handelt es sich teilweise um laufende Prozesse, für die daher keine abschließende Bewertung möglich ist. Aus diesem Grund wird auch ein Fokus auf den gegenwärtigen Stand in den politischen Prozessen und wichtige Diskussionlinien gelegt. Der Teilbericht wurde im Zeitraum zwischen Mai 2024 und Februar 2025 erstellt.

8.4 Aktuelle politische Prozesse auf Bundesebene

Mit einer Carbon Management-Strategie (CMS), einer Langfriststrategie Negativemissionen (LNe) und einer Novellierung des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes werden durch die Bundesregierung Rahmenbedingungen für die Etablierung einer Kohlenstoffwirtschaft geschaffen. Diese politischen Instrumente sind Teile eines strategischen Gesamtansatzes der Bundesregierung zur Dekarbonisierung der Wirtschaft und der Erreichung von Klimaneutralität. Sie umfasst auch andere Instrumente wie die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie, die Systementwicklungsstrategie und die Industriestrategie (vgl. Tabelle 8.1 für eine Übersicht von nationalen Langfriststrategien für den Klimaschutz in der Wirtschaft).

Tabelle 8.1: Übersicht von nationalen Langfriststrategien für den Klimaschutz in der Wirtschaft

Strategie	Anwendungsbereich	Entwicklungsstand
Carbon Management-Strategie (CMS)	CCS/CCU vor allem in der Industrie und bei Abfallbehandlungsanlagen	05.2024: Eckpunktepapier

Langfriststrategie Negativemissionen (LNe)	Minderung von unvermeidbaren Restemissionen durch CO ₂ -Entnahme aus der Atmosphäre	02.2024: Eckpunktepapier
Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS)	Integration von Zielen und Maßnahmen für eine zirkuläre Wirtschaft und Ressourcenschonung	06.2024: Entwurf
Nationale Biomassestrategie (NABIS)	Rahmenbedingungen für die nachhaltige Erzeugung und Nutzung von Biomasse aus der Wald-, Land- und Abfallwirtschaft	10.2022: Eckpunktepapier
Nationale Wasserstoffstrategie (NWS)	Gesamtstrategie für Erzeugung, Transport und Nutzung von Wasserstoff	06.2020: Veröffentlichung 07.2023: Fortschreibung
Industriestrategie	Orientierungsrahmen für Industriepolitik und Darstellung von Handlungsbedarfen	10.2023: Veröffentlichung
Systementwicklungsstrategie (SES)	Transformation des Energiesystems, Infrastrukturplanungen und Sektorstrategien	11.2023: Zwischenbericht
Leichtbaustrategie	Ausbau von Leichtbau-Technologien für Industrietransformation und Innovationsstärkung	07.2023: Veröffentlichung

(Quelle: eigene Darstellung)

Die Kernelemente des Kohlenstoffmanagements CCS, CCU und CDR sind Teile eines integrierten Systems mit verbundenen Technologien und Infrastrukturen. Daraus resultierende Überschneidungen sind im politischen Prozess zu berücksichtigen, um zu kongruenten Vorgaben zu kommen. Überschneidungen gibt es etwa zwischen der Carbon Management-Strategie und der Langfriststrategie Negativemissionen. Dies betrifft Fragen der Auslegung der Transportinfrastruktur und von Speicherkapazitäten für CO₂. Bezüge dieser beiden Strategien bestehen auch zur Nationalen Biomassestrategie (NABIS), etwa über die Nutzung von Biomasse für die Generierung von Negativemissionen (bspw. durch BECCS) sowie der möglichen Nutzung von biogenem statt fossilem Kohlenstoff als Grundstoff in der Industrie vor dem Hintergrund möglicher Nutzungskonkurrenzen mit anderen Verwendungsweisen von Biomasse.

8.4.1 Die Carbon Management-Strategie des Bundes

Am 29. Mai 2024 wurden vom Bundeskabinett „Eckpunkte der Bundesregierung für eine Carbon Management-Strategie“ beschlossen (BMWK 2024a). Unterstützt wird das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) bei der Entwicklung der Strategie von der Deutschen Energie-Agentur (dena), welche zusammen mit Partnern etwa die Potentiale von CCS und CCU ermittelte und einen Dialogprozess mit Akteuren aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft organisierte (dena 2024). Ausgehend von bestehenden Beteiligungsformaten zu den Themen CCS und CCU startete der Stakeholderdialog zur Carbon Management-Strategie im März 2023 und bot Organisationen, wie Branchen- und Umweltverbänden, die Möglichkeit für einen Austausch und zu Stellungnahmen (IWR 2023).

Die Carbon Management-Strategie ist ein zentrales Instrument für die Erreichung von Klimaneutralität bis zum Jahr 2045. Der Fokus liegt auf dem Einsatz von CCS- und CCU-Technologien für schwer oder nicht vermeidbaren Emissionen der Industrie⁹⁷. Die Strategie sieht verschiedene Maßnahmen vor, um den Hochlauf dieser Technologien zu ermöglichen, darunter die Anpassung des Rechtsrahmens, die Förderung von CCS- und CCU-Projekten, den Aufbau einer Transportinfrastruktur und die Ermöglichung der Offshore-Speicherung von CO₂.

Zwischen den Eckpunkten für eine Carbon Management-Strategie und dem im Mai zeitgleich beschlossenen Entwurf für eine Novellierung des KSpG gibt es inhaltliche Übereinstimmungen, die eine einheitliche strategische und rechtliche Rahmensetzung sicherstellen sollen. Das Eckpunktepapier hat aber bei Themen außerhalb der Regulatorik wie der finanziellen Förderung eine größere Detailtiefe und soll Leitplanken für eine Gesamtstrategie im Bereich CCS und CCU bereitstellen (BMWK 2024b).

Zentrale Maßgaben für die Carbon Management-Strategie sind entsprechend dem Eckpunktepapier (BMWK 2024a):

Anwendungsbereich

- Die staatliche Förderung fokussiert auf CCS und CCU für „schwer oder anderweitig nicht vermeidbare Emissionen“ in der Industrie (z. B. Zement, Kalk, Grundstoffchemie und Abfallwirtschaft).
- CCS und CCU sollen zur Gewährleistung eines technologieoffenen Übergangs zu einem klimaneutralen Stromsystem für gasförmige Energieträger oder Biomasse eingesetzt werden. Eine finanzielle Förderung bei fossilen Energieträgern ist nicht vorgesehen.
- Der Kohleausstieg wird beibehalten und der Zugang zu CO₂-Pipelines und -Speicherstätten für Emissionen aus kohlebetriebenen Kraftwerken (Kohle-Stromkraftwerke und kohlebasierte Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen) ausgeschlossen.

CO₂-Transport

- Die nationale CO₂-Infrastruktur soll an Speicherstätten im EU-Ausland angebunden werden, insbesondere aufgrund kurz- und mittelfristig nicht zur Verfügung stehender Speicherkapazitäten in Deutschland.
- Es wird eine Anpassung des Rechtsrahmens für den Export von CO₂ für eine Offshore-Speicherung beabsichtigt (Ratifizierung der Änderungen des London-Protokolls, Änderung des Hohe-See-Einbringungsgesetzes)⁹⁸.
- Der Aufbau und Betrieb einer CO₂-Infrastruktur soll wesentlich über privatwirtschaftliche Akteure innerhalb eines nationalen Rechtsrahmens erfolgen (dafür Novellierung KSpG gemäß Vorschlägen im Evaluationsbericht 2022).
- Planungs- und Genehmigungsverfahren für eine Umwidmung von Gasleitungen und einen Neubau von CO₂-Pipelines sollen beschleunigt werden.

97 Gemäß den mit dem Eckpunktepapier veröffentlichten FAQs handelt es sich bei „schwer oder anderweitig nicht vermeidbaren Emissionen“ um Emissionen, „die auch beim Einsatz von Wasserstoff oder der Elektrifizierung des Produktionsprozesses nicht vermieden werden können“ (bspw. prozessbedingte Emissionen der mineralischen Industrie) sowie um Emissionen, die erst bei Verfügbarkeit der erforderlichen Technik und Wirtschaftlichkeit „auf mittlere bis lange Sicht vermeidbar sind“ (BMWK 2024b: 5).

98 In diesem Kontext wurde von der CDU/CSU Fraktion im Juli 2024 ein Entwurf für ein CO₂-Export-Ermöglichungsgesetz vorgelegt, mit dem das London-Protokoll ratifiziert und damit ein Export von CO₂ für die Offshore-Speicherung außerhalb von Deutschland ermöglicht werden soll (Deutscher Bundestag 2024).

CO₂-Speicherung

- Die geologische Offshore-Speicherung von CO₂ soll unter Berücksichtigung von Sicherheitsstandards und ökologischen Vorgaben (nicht in Meeresschutzgebieten und daran anschließenden Pufferzonen) ermöglicht werden.
- Es wird eine Anpassung des KSpG für die Erkundung und bei Standorteignung auch Erschließung von Speicherstätten für Offshore-Speicherung von CO₂ in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) bzw. dem Festlandsockel avisiert.
- Eine Onshore-Speicherung von CO₂ auf dem deutschen Festland soll weiterhin nicht erlaubt sein. Es soll aber über ein novelliertes KSpG die Möglichkeit für ein Option-in der Länder und für Onshore-Speicherung im Rahmen von Forschungsvorhaben geschaffen werden.

Förderung

- Der Hochlauf von CCS und CCU erfordert neben Anreizen aus EU ETS weitere Förderinstrumente zum Ausgleich der höheren Produktionskosten einer klimaneutralen Wirtschaft.
- Es wird eine Förderung von CCS und CCU für schwer oder nicht vermeidbare Emissionen in der Industrie und der Abfallwirtschaft (nicht Emissionen aus fossiler Energieerzeugung) beabsichtigt.
- Klimaschutzverträge zwischen Unternehmen und Staat zum Ausgleich von erhöhten Kosten bei klimafreundlicher Produktion: Unter bestimmten Voraussetzungen und bei Vorliegen regulatorischer Rahmenbedingungen sollen Anlagen förderfähig sein, bei denen anderweitig nicht vermeidbare Emissionen durch CCS/CCU gemindert werden.
- Einführung einer Förderrichtlinie „Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (BIK)“ mit Fördermodul für CCS/CCU: Über diese Richtlinie soll eine Förderung von Investitions- sowie Innovations-, Forschungs- und Entwicklungsvorhaben für CCS/CCU in der Industrie und der Abfallwirtschaft sowie von Anlagen für Negativemissionen erfolgen.

Aktueller Stand und Prozess

Die Eckpunkte sollten nach der Beschlussfassung durch das Bundeskabinett für die Carbon Management-Strategie weiter ausgearbeitet und in die Ressortabstimmung überführt werden. Entwürfe der Strategie wurden parallel in das parlamentarische Verfahren im Bundestag gegeben, was die weitere Zeitplanung bestimmte (BMWK 2024b). Aufgrund der im November 2024 erfolgten Bekanntgabe von vorgezogenen Bundestagswahlen im Februar 2025 wurde der Entwurf jedoch nicht dem Bundestag weitergeleitet. Ob die Carbon Management Strategie in einer neuen Legislaturperiode umgesetzt wird ist offen.

8.4.2 Die Strategie im Umgang mit Negativemissionen

Im Februar 2024 wurde vom BMWK (2024c) das Eckpunktepapier „Langfriststrategie Negativemissionen zum Umgang mit unvermeidbaren Restemissionen (LNe)“ veröffentlicht. Wie im Klimaschutzgesetz verankert, ist für Klimaneutralität ein Ausgleich unvermeidbarer Restemissionen durch Negativemissionen notwendig (KSG § 3 Absatz 2)⁹⁹. Dies soll durch natürliche Senken und technologische Verfahren für die Entnahme von Kohlenstoff aus der Atmosphäre (Carbon Dioxide Removal, CDR)

⁹⁹ Negative Emissionen umfassen im Begriffsverständnis der LNe Emissionen, „die der Atmosphäre CO₂, oder andere THG entziehen und diese möglichst dauerhaft in geologischen, terrestrischen oder ozeanischen Reservoirs oder in Produkten speichern“ (BMWK 2024c: 5). Dafür sind biologische, geochemische oder chemische Verfahren einsetzbar. Negative Emissionen sind damit von einer Abscheidung und Speicherung von CO₂ an industriellen Punktquellen zu unterscheiden.

und deren langfristige Speicherung erreicht werden. Die LNe soll in diesem Kontext als Grundlage für „ein gemeinsames Verständnis der Rolle der CO₂-Entnahme für den Klimaschutz“ fungieren (BMWK 2024c).

In dem Eckpunktepapier wird das Arbeitsprogramm für die Entwicklung der Langfriststrategie Negativemissionen formuliert. Eine Grundlage der Strategieentwicklung ist ein seit Mai 2024 laufender Beteiligungsprozess mit Stakeholdern aus Zivilgesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft, der im Auftrag des BMWK durch die dena durchgeführt wird. Im Rahmen einer Online-Beteiligung findet eine Konsultation zur Bewertung von Verfahren der CO₂-Entnahme statt. Daneben werden in drei Arbeitsgruppen zu den Fokusthemen „Bewertung von Methoden und Technologien“, „Governance und Rechtsrahmen“ sowie „Ökonomische Anreize und Marktrahmen“ Empfehlungen erarbeitet¹⁰⁰. Das Öko-Institut und Prognos führen Modellierungen durch, die ebenfalls eine Grundlage der Strategie sein sollen¹⁰¹ (BMWK 2024d).

In der LNe werden alle relevanten biologischen, geochemischen und chemischen Methoden und Technologien für Negativemissionen berücksichtigt. Genannt werden in dem Eckpunktepapier unter anderem die Potentiale der Aufforstung von Wäldern, Moore, das Bodenmanagement und Biomasse sowie das BECCU/S (BioEnergy with Carbon Capture, Utilisation and Storage) und DACCU/S (Direct Air Carbon Capture, Utilisation and Storage/Sequestration) Verfahren.

Gemäß dem Eckpunktepapier soll die Langfriststrategie Negativemissionen fünf Kernthemen umfassen (BMWK 2024c):

- **Zielgrößen für den Ausbau negativer Emissionen:** Über Modellierungen sollen der Bedarf und die Potentiale für Negativemissionen festgestellt werden, die für das im Klimaschutzgesetz verankerte Ziel von Netto-Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 und das Ziel von Netto-Negativemissionen nach 2050 erforderlich sind. Basierend auf den Szenarioanalysen werden Zielwerte für technische Senken für die Jahre 2035, 2040 und 2045 und eine Zielgröße für netto-negative THG-Emissionen in Deutschland im Jahr 2060 ermittelt.
- **Bewertung von Methoden und Technologien:** Es soll eine systematische, wissenschaftlich fundierte Bewertung aller möglichen Methoden und Technologien für Negativemissionen stattfinden. Dafür soll ein breites Kriterienset zugrunde gelegt werden, welches ihre Effektivität für den Klimaschutz, Kosteneffizienz und Nachhaltigkeit berücksichtigt. Ebenfalls einbezogen werden mögliche gesellschaftliche Hürden und Konflikte. Mit einem Kriterienset soll ein Orientierungs- und Entscheidungsrahmen geschaffen werden.
- **Governance und Rechtsrahmen:** In der Strategie werden Vorschläge für einen unterstützenden Rechtsrahmen gemacht sowie rechtliche Hindernisse und Änderungsbedarfe aufgezeigt. Es sollen Empfehlungen für ein Monitoring und eine Zertifizierung von Negativemissionen gegeben werden. Ein weiteres Thema ist die öffentliche Akzeptanz für die Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre. Es soll eine zweijährliche Evaluation und Aktualisierung der LNe stattfinden
- **Ökonomische Anreize und Marktrahmen:** Es sollen ökonomische Anreize identifiziert werden, die zu einem effektiven und kosteneffizienten Einsatz von Verfahren zur CO₂-Entnahme führen. Mit einem tragfähigen Marktmodell sollen die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für die be-

100 Die Dokumente aus dem Beteiligungsprozess sind öffentlich und können auf der Website des BMWK (2024d) eingesehen werden.

101 Modellierungen der Sektoren Industrie, Landwirtschaft und LULUCF, für restliche Sektoren werden exogene Annahmen getroffen.

darfsgerechte Bereitstellung und Skalierung von Methoden und Technologien für Negativemissionen geschaffen werden. EU-Prozesse wie der Emissionshandel werden darin berücksichtigt.

- **Forschung und Entwicklung:** Es werden Bedarfe für Forschung und Entwicklung bei der Generierung von Negativemissionen identifiziert. Aufgrund der Neuartigkeit vieler Verfahren sind Erprobungs- und Demonstrationsvorhaben notwendig. Damit soll auch der Forschungs- und Technologiestandort Deutschland unterstützt und eine interdisziplinäre Forschungsagenda aufgesetzt werden.

Aktueller Stand und Prozess

Die Eckpunkte für die LNe wurden bislang nicht in den Bundestag eingebracht. Aufgrund des Endes der „Ampel-Koalition“ und der Ankündigung von Bundestagsneuwahlen im Februar 2025 wird dies in der laufenden Legislaturperiode nicht erfolgen. Der ursprüngliche Zeitplan sah vor, dass bis Anfang des Jahres 2025 ein erster Gesamtentwurf der LNe entwickelt und dann in die ressortübergreifende Abstimmung innerhalb der Bundesregierung gegeben wird. Angestrebt wurde eine Kabinettsbefassung im April 2025 (BMWK 2024d). Aktuell läuft allerdings der fachliche Konsultationsprozess zur Einbeziehung der zentralen Akteure weiter.

8.4.3 Die Novellierung des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes

Das Kohlendioxid-Speicherungsgesetz – KSpG (lang: Gesetz zur Demonstration der dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid) wurde im Jahr 2012 verabschiedet. Über das Gesetz wird die EU-Richtlinie 2009/31/EG für die geologische Speicherung von Kohlendioxid in deutsches Recht überführt.

Das Ziel des Gesetzes ist die Gewährleistung einer dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid in unterirdischen Gesteinsschichten zum Schutz des Menschen und der Umwelt. Regelungsgegenstand sind die Erforschung, Erprobung und Demonstration von Technologien zur dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid in unterirdischen Gesteinsschichten sowie der Transport von CO₂ zu diesem Zweck (§ 1 KSpG). Das Gesetz ermöglicht Kohlendioxidspeicher, die bis Ende 2016 beantragt wurden. Es sieht eine jährliche Obergrenze von gespeichertem CO₂ in Höhe von 4 Mio. t vor. Zuständig für die Genehmigung und Überwachung von Kohlendioxidspeicher sind die Länder. Diese können auch Ausschlusskriterien gesetzlich regeln (§ 2 KSpG).

Im Evaluierungsbericht der Bundesregierung zum Kohlendioxid-Speicherungsgesetz aus dem Jahr 2022 werden Empfehlungen für eine Änderung des Gesetzes gegeben, um bestehende Regelungslücken zu beheben¹⁰². In dem Bericht wird festgestellt, dass das Gesetz in seiner jetzigen Fassung eine praktische Umsetzung von CCS und CCU verhindert, wenngleich diese Technologien für die Erreichung des Ziels der Klimaneutralität erforderlich sind (Deutscher Bundestag 2022). So ist eine CO₂-Speicherung nach gegenwärtiger gesetzlicher Lage zumindest im Rahmen von Forschungsvorhaben durchführbar, wird aber durch die Befristung der Antragstellung bis Ende 2016 faktisch verhindert.

¹⁰² Gemäß dem KSpG soll die Bundesregierung dem Deutschen Bundestag alle vier Jahre einen Evaluierungsbericht vorlegen (ab der erstmaligen Evaluierung zum 31.12.2018). Die Berichte des BMWK haben den Status von Beschlüssen des Bundeskabinetts. Darin sollen die Anwendung des Gesetzes und Erkenntnisse aus CCS-Demonstrationsanlagen und Forschungsvorhaben dargelegt sowie Empfehlungen für notwendige gesetzgeberische Maßnahmen gegeben werden. Der erste Evaluierungsbericht wurde 2018 erstellt. Eine Aktualisierung erfolgte über den zweiten Bericht im Jahr 2022.

Nachdem im Februar 2024 erste Entwürfe veröffentlicht wurden, wurde am 29. Mai 2024 vom Bundeskabinett ein Entwurf für die Novellierung des KSpG beschlossen und in den Gesetzgebungsprozess überführt. Damit würden rechtliche Grundlagen für das Carbon Management und die Etablierung einer Kohlenstoffwirtschaft geschaffen. Wichtige Änderungen betreffen die CO₂-Speicherung und den CO₂-Transport. Daraus folgt auch eine avisierte Umbenennung des Gesetzes in „Kohlendi oxid-speicherung- und -transportgesetz“ (KSpTG) (BMWK 2024e).

Die Änderungsvorschläge für das KSpG im Bereich der CO₂-Speicherung und des CO₂-Transports stimmen mit den zuvor im Zusammenhang mit den Eckpunkten der Carbon Management-Strategie dargestellten Maßgaben überein. Sie können wie folgt zusammengefasst werden (BMWK 2024e):

- Ein wichtiges Ziel ist die Schaffung einer rechtlichen Grundlage für Speicherstätten für die dauerhafte Offshore-Speicherung von CO₂ in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) und dem Festlandsockel. Bei vorhandener Standorteignung soll unter Einhaltung von Sicherheitsstandards und ökologischen Vorgaben eine industrielle Nutzung erlaubt werden. Ausgenommen sind Meeresschutzgebiete und umgebende Pufferzonen. Nicht möglich bleibt die Onshore-Speicherung von CO₂ auf dem deutschen Festland (mit Ausnahme von Forschungsvorhaben). Die Länder können aber eigene rechtliche Regelungen für die Ermöglichung einer CO₂-Speicherung auf dem Festland in ihrem Gebiet einführen.
- Es soll ein einheitlicher Rahmen für den Bau von CO₂-Pipelines geschaffen werden. Der Transport von CO₂ soll sowohl für die nachfolgende Speicherung als auch für die Nutzung in Sektoren wie der Chemieindustrie möglich sein. Um den privatwirtschaftlichen Bau der Infrastruktur zu unterstützen, werden Planungs- und Genehmigungsverfahren beschleunigt (bspw. durch zeitnahe Stellungnahmen von Zulassungsbehörden und Regelungen zum Umgang mit Rechtsstreitigkeiten).
- Der Kohleausstieg wird beibehalten und der Zugang zu CO₂-Pipelines und -Speicherstätten für Emissionen aus Kohlekraftwerken (Kohle-Stromkraftwerke und kohlebasierte Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen) ausgeschlossen. Bei fossilen Energieträgern erfolgt keine Förderung von CCS- und CCU-Vorhaben. Bei gasförmigen Energieträgern oder Biomasse wird CCS und CCU für einen technologieoffenen Übergang zu einem klimaneutralen Stromsystem erlaubt.

Aktueller Stand und Prozess

Nach dem Beschluss durch das Bundeskabinett im Mai 2024 befindet sich der Entwurf für die Novellierung des KSpG im parlamentarischen Gesetzgebungsverfahren des Bundestags. Aufgrund der im November 2024 erfolgten Bekanntgabe von Bundestagsneuwahlen wurde der Entwurf jedoch nicht abschließend beraten und müsste von einer neuen Regierung neu in den Bundestag eingebracht werden.

8.4.4 Die Bundesagentur für Sprunginnovationen

Die Bundesagentur für Sprunginnovationen (SPRIND, kurz für Sprunginnovationen in Deutschland) ist eine im Jahr 2019 in Leipzig gegründete staatliche Agentur, die als „Inkubator“ für disruptive Innovationen in Deutschland und Europa dienen soll (BMBF 2024, SPRIND 2024a). Sie operiert in der Rechtsform einer GmbH mit dem Bund als einzigen Gesellschafter. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) beabsichtigen mit der Agentur die Identifizierung von innovativen Projektideen und deren Unterstützung bis zur Marktfähigkeit (BMBF 2024). Die Agentur befindet sich gegenwärtig in einer zeh-

jährigen Experimentierphase (ab 2019), für die von einem Budget von etwa einer Mrd. Euro ausgegangen wird (SPRIND 2024a).

Am 26. Juli 2023 wurde vom Bundeskabinett das Gesetz über die Arbeitsweise der Bundesagentur für Sprunginnovationen und zur Flexibilisierung ihrer rechtlichen und finanziellen Rahmenbedingungen (SPRIND-Freiheitsgesetz - SPRINDFG) beschlossen, das am 30. Dezember 2023 in Kraft getreten ist. Damit werden die Handlungsmöglichkeiten und die Flexibilität der Agentur zur Förderung von Sprunginnovationen gestärkt. Das Gesetz legt fest, dass die Agentur als Auftragnehmerin des Bundes agiert und eigenverantwortlich Förderaufgaben durchführen kann. Es können privatwirtschaftliche Formen der Innovationsförderung eingesetzt werden und Beteiligungen an Unternehmensgründungen stattfinden. Über eine Einschränkung des Besserstellungsverbots für die SPRIND und etwaige Tochtergesellschaften wird die Anwerbung von hochqualifiziertem Fachpersonal erleichtert (BMBF 2024). Die SPRIND kann unter diesen Rahmenbedingungen eine Vielzahl von Finanzierungs- und Förderinstrumenten für Innovationsprojekte nutzen (SPRIND 2024a).

Zentrale Förderaufgaben der SPRIND sind die Identifizierung, Validierung und Betreuung von Projekten mit dem Potential für Sprunginnovationen (SPRIND 2024a). Eingereichte Projektideen werden auf ihren disruptiven Charakter hin evaluiert. Im Fall einer Auswahl werden flexible Förderinstrumente und zielgerichtete Beratungsangebote zur Unterstützung der Vorhaben genutzt (BMBF 2024). Berücksichtigt werden innovative Projektideen in unterschiedlichen Handlungsfeldern wie Klimaschutz, Gesundheit oder Mobilität, die Lösungen für wichtige gesellschaftliche Probleme bereitstellen können und bis zur Marktfähigkeit weiterentwickelt werden sollen (BMBF 2024).

Zur Identifizierung und Förderung von innovativen Projekten führt die SPRIND auch Innovationswettbewerbe („Challenges“) durch (SPRIND 2024a). In mehrstufigen Wettbewerben treten Projektteams gegeneinander an und konkurrieren um Unterstützung für die Umsetzung ihrer Ideen. Ein derartiger Wettbewerb fand auch zum Thema CO₂-Nutzung bzw. „Carbon-to-Value“ statt. Das Ziel war die Entwicklung wirtschaftlich tragfähiger Lösungen, wie CO₂ dauerhaft aus der Atmosphäre entnommen und in Rohstoffen oder Produkten gebunden werden kann.

Als Gewinner der „Carbon-to-Value“ Challenge wurden im September 2024 drei Unternehmen ausgewählt. Es handelt sich um das Unternehmen enaDyne, welches ein Verfahren zur Umwandlung von biogenem CO₂ in Kohlenwasserstoffverbindungen entwickelte, die dann in der Chemieindustrie anstelle von fossilem Kohlenstoff für die Produktherstellung genutzt werden können. Das Unternehmen Carbo Culture verwendet Pflanzenkohle aus Abfallbiomasse in Beton, wodurch CO₂ ebenfalls langfristig gebunden werden kann. Das Unternehmen MacroCarbon entwickelt Algenfarmen, über die dem Meerwasser CO₂ entzogen wird, das im nächsten Schritt als Rohstoff in die Wertschöpfungskette der Chemieindustrie einfließen kann (SPRIND 2024b).

8.5 Aktuelle Entwicklungen zur Carbon Management Strategie auf Landesebene

Mit Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg haben in Deutschland zwei der bevölkerungsstärksten Länder mit starker industrieller Prägung Carbon Management-Strategien eingeführt. Nachfolgend werden die strategischen Pläne dieser beiden Länder zusammenfassend dargestellt.

Baden-Württemberg

Die Landesregierung Baden-Württemberg hat am 15. Oktober 2024 ein Positionspapier zu Carbon Management verabschiedet. Mit der Anwendung von CCS- und CCU-Verfahren soll das übergeordnete Ziel der Klimaneutralität auch in Industriebranchen erreicht und der Industriestandort gestärkt werden (Landesregierung Baden-Württemberg 2024a). Dies betrifft in Baden-Württemberg insbesondere Standorte der Zement- und Kalkindustrie, der Glas-, Chemie- und Papierindustrie sowie den Abfall- und Raffiniersektor (Landesregierung Baden-Württemberg 2024b).

Gemäß dem Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW) wird bis zum Jahr 2040, und damit fünf Jahre früher als auf Bundesebene, eine bilanzielle Netto-Treibhausgasneutralität angestrebt. In dem Gesetz ist eine „Klima-Rangfolge“ festgelegt, aus der folgt, dass CCS und CCU nur für Treibhausgase eingesetzt werden sollen, die anderweitig nicht oder nicht mit verhältnismäßigem Aufwand gemindert werden können, wie es etwa in der mineralischen und teilweise auch in der chemischen Industrie der Fall ist (Landtag Baden-Württemberg 2023).

Die zentralen strategischen Ansatzpunkte der Landesregierung Baden-Württemberg für das Carbon Management können gemäß dem verabschiedeten Positionspapier folgendermaßen zusammengefasst werden (Landesregierung Baden-Württemberg 2024b):

- **CO₂-Infrastruktur:** Für den Hochlauf von CCS und CCU wird eine CO₂-Infrastruktur benötigt, wobei je nach örtlichen Voraussetzungen neben Pipelines auch ein Transport über LKWs, Züge oder Schiffe möglich ist. Die Anbindung an eine deutschland-, aber auch europaweite CO₂-Pipeline-Infrastruktur hat für Baden-Württemberg als Transitland eine hohe Bedeutung. Für die Errichtung der Infrastruktur sollen auf Landesebene Planungs- und Genehmigungsverfahren beschleunigt werden. Privatwirtschaftliche Akteure sollen beim Bau und Betrieb der CO₂-Infrastruktur durch die Landesregierung unterstützt werden (bspw. durch Networking und das Eintreten der Landesregierung für Finanzierungs- und Regulierungskonzepte auf Bundesebene).
- **Nutzung von CO₂:** CCU wird eine ähnliche Priorität wie CCS eingeräumt. CO₂ soll im Rahmen einer Kreislaufführung und unter Berücksichtigung des ganzen Produktlebenszyklus beispielsweise in der Chemieindustrie als Rohstoff genutzt werden. Bei Kraftstoffen soll in erster Linie biogener oder aus der Atmosphäre entnommener Kohlenstoff verwendet werden. Die Landesregierung unterstützt dies durch in Richtung der EU und dem Bund gerichtete Forderungen nach Rahmenbedingungen für CCU und regionale Musterprojekte.
- **CO₂-Speicherung:** Die Speicherung von CO₂ in den deutschen Offshore-Gebieten und der CO₂-Export ins europäische Ausland zwecks Offshore-Speicherung wird von der Landesregierung unterstützt, ebenso wie die dafür notwendigen Änderungen von rechtlichen Vorgaben. Die Lan-

desregierung beabsichtigt eine Evaluierung der Potentiale und Risiken der CO₂-Speicherung in Baden-Württemberg.

- **Gesellschaftliche Akzeptanz:** Die Bedeutung der gesellschaftlichen Akzeptanz für die erfolgreiche Umsetzung von Carbon Management Maßnahmen wird hervorgehoben. Bürger*innen sollen an Entscheidungsprozessen beteiligt und durch eine wissenschaftliche Begleitung fundierte Informationen bereitgestellt werden (bspw. durch den Klima-Sachverständigenrat des Landes Baden-Württemberg).
- **Wirtschaftliche Chancen:** Die Landesregierung sieht im Carbon Management Chancen für die Stärkung des Wirtschaftsstandorts Baden-Württemberg, beispielsweise in den Bereichen Anlagenbau und GreenTech. Neben CCS und CCU gilt das auch für Wirtschaftstätigkeiten im Zusammenhang mit der CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre (DAC), was durch einen Industriedialog „Direct Air Capture made in Baden-Württemberg“ unterstützt wird.
- **Förderung:** Die Landesregierung unterstützt die (Weiter-)Entwicklung von Fördermaßnahmen des Bundes für das Carbon Management. Relevante Instrumente sind Klimaschutzverträge zum Ausgleich von Mehrkosten durch CCS und CCU in Unternehmen sowie die Einführung einer Förderrichtlinie „Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (BIK)“ mit einem Fördermodul für CCS und CCU.

Das Positionspapier unterstreicht die Bereitschaft der Landesregierung Baden-Württemberg, eine Vorreiterrolle beim Carbon Management einzunehmen. Es wird ein umfassender Ansatz verfolgt, der technologische Innovationen, politische Maßnahmen und gesellschaftlichen Dialog miteinander verbindet. Dabei wird eine Zusammenarbeit mit dem Bund, anderen Ländern sowie der Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft beabsichtigt. Innerhalb der Landesregierung wird eine Arbeitsgruppe für das Thema Carbon Management unter Leitung des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft sowie des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus etabliert (Landesregierung Baden-Württemberg 2024b)

Nordrhein-Westfalen

Im Oktober 2021, und damit noch vor dem Beschluss einer vergleichbaren Strategie auf Bundesebene, wurde von der Landesregierung Nordrhein-Westfalen eine Carbon Management Strategie veröffentlicht. Das Ziel ist die klimaneutrale Transformation bis zum Jahr 2045 durch die Etablierung einer kohlenstoffarmen Industrie bei gleichzeitiger Stärkung des Industriestandorts. Neben einer Elektrifizierung von Industrieprozessen und dem Einsatz von Wasserstoff als Energieträger soll dies durch eine nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft erreicht werden. Im Zuge der Entwicklung der Carbon Management Strategie fand ein Dialog mit Akteuren aus Gesellschaft, Industrie, Verbänden und Wissenschaft statt, woraus Ergebnisse in der Strategie berücksichtigt wurden (MWIKE o. J.).

Die Carbon Management Strategie des Landes NRW umfasst konkrete Maßnahmen für einen Übergang zu einer nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft. Geplant ist die Initiierung von Maßnahmen in vier Handlungsfeldern zur Beschleunigung der Transformation (MWIDE 2021a):

- **Reduzierung der Kohlenstoffintensität:** Dieses Handlungsfeld umfasst Maßnahmen zur Dekarbonisierung, also für einen Verzicht auf Kohlenstoff, zur Realisierung einer Low Carbon Industry. Dies soll in Bereichen stattfinden, in denen eine vollständige Minderung von Kohlenstoff erreich-

bar ist, wie etwa bei der Prozesswärme und bestimmten Industrieprozessen. Zentrale Maßnahmen sind dafür die Entwicklung kohlenstofffreier Technologien und Prozesse, die Beschleunigung des Hochlaufs der Wasserstoffwirtschaft und der Ausbau von erneuerbaren Energien in NRW.

- **Nachhaltige Kohlenstoffnutzung:** In Bereichen, die weiter Kohlenstoff benötigen, soll eine Defossilisierung der Rohstoffbasis stattfinden, etwa durch den Ersatz von fossilem durch biogenen Kohlenstoff, die Verwendung sekundärer Rohstoffe und den Einsatz von CCU-Verfahren. Dafür werden Maßnahmen ergriffen, die eine nachhaltige Nutzung biologischer Ressourcen ermöglichen. Weitere geplante Aktivitäten sind die Etablierung eines Carbon Monitorings in NRW, welches alternative Kohlenstoffquellen und industrielle Senken aufzeigt, sowie die Entwicklung eines Benchmarks für die ganzheitliche Bewertung alternativer Wertschöpfungspfade von Produkten (u. a. nach den Kriterien CO₂-Bilanz, Energieeffizienz, Qualität). Akteure auf der Bundes- und EU-Ebene werden aufgefordert, regulative und finanzielle Maßnahmen zur Förderung von Verfahren für alternative Kohlenstoffnutzungen zu ergreifen.
- **CO₂-Management:** In diesem Handlungsfeld geht es um die Abscheidung von nicht oder schwer vermeidbaren CO₂-Mengen aus der Industrie und Landwirtschaft und deren Nutzung als Rohstoff, etwa in der Chemieindustrie im Rahmen von geschlossenen Kohlenstoffkreisläufen. Maßnahmensseitig soll dies durch den Aufbau einer CO₂-Transportinfrastruktur in NRW unterstützt werden (Planung, Erprobung). Beabsichtigt sind auch die Etablierungen nationaler und internationaler Kooperationen bei CCS- und CCU-Vorhaben sowie die Initiierung eines Förderwettbewerbs „CCU-Modellregion in Nordrhein-Westfalen“. In Richtung der Bundesregierung werden Forderungen zur Schaffung eines rechtlichen Rahmens für die Speicherung, Nutzung und den Transport von Kohlenstoff vertreten.
- **Gesellschaftlicher Diskurs:** Die Industrietransformation geht mit umfassenden Veränderungsprozessen einher, welche gesellschaftliche Akzeptanz erfordern werden. Bürgerinnen und Bürger sollen daher in einem Diskurs zur nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft frühzeitig beteiligt werden. Um das Verständnis für die transformativen Prozesse zu verbessern, sollen im Rahmen einer „Carbon Education“ Informations- und Dialogangebote etabliert werden. Auf Bundesebene wird die Forderung nach einem Label für Produkte aus nachhaltiger Wertschöpfung vertreten.

Mit einer maßnahmenorientierten Perspektive auf den Übergang zu einer nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft unterscheidet sich die Carbon Management Strategie des Landes NRW von der Baden-Württembergs, welche auf übergeordneter Ebene Leitplanken formuliert. Die Carbon Management Strategie wird von der Landesregierung NRW als Zielvision für eine Low Carbon Economy verstanden, deren Maßnahmen in kooperativen Formaten mit den betroffenen Akteuren zur Umsetzung gebracht werden sollen (MWIDE 2021a). Erste Maßnahmen wurden bereits gestartet. Begonnen hat im August 2024 etwa der Förderwettbewerb für „CCU-Modellregionen NRW“, im Rahmen dessen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben für eine nachhaltige CO₂-Nutzung finanziell unterstützt werden (MWIKE 2024).

8.6 Internationale Politische Entwicklungen

EU Ebene

Durch den europäischen Grünen Deal, das europäische Klimagesetz und die darauffolgenden Vorschläge zur Anhebung der Energie- und Klimaziele für das Jahr 2030 hat das Kohlenstoffmanagement eine bedeutende Rolle in den Anstrengungen der EU zur Dekarbonisierung eingenommen (European Commission o. J.). Die folgende Tabelle enthält eine Übersicht zentraler politischer und rechtlicher Instrumente der Europäischen Union, welche die Transformation zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft unterstützen sollen. Sie umfassen Strategien, Gesetzgebungen, Maßnahmenpakete und Verordnungen, die auch darauf abzielen, industrielle Kohlenstoffmanagementlösungen voranzutreiben und die Klimaziele zu erreichen.

Tabelle 8.2: Übersicht politischer Instrumente der Industriedekarbonisierung auf EU-Ebene mit Relevanz für die Kohlenstoffwirtschaft

Instrumente	Anwendungsbereich	Entwicklungsstand
Industrial Carbon Management Strategy	Arbeitsprogramm zum industriellen Kohlenstoffmanagement	06.02.2024: Annahme der Mitteilung der EU-Kommission
Europäische Industriestrategie	Maßnahmen, zur Förderung einer nachhaltigen, digitalen und international wettbewerbsfähigen europäischen Industrie	10. März 2020: Mitteilung der EU-Kommission 11. Mai 2021: Aktualisierte Veröffentlichung
Europäischer Grüner Deal	Maßnahmenpaket zur Erreichung von Klimaneutralität in Europa bis 2050 durch nachhaltiges Wachstum; verknüpft soziale, ökologische und wirtschaftliche Faktoren	11.12.2019: Mitteilung der EU-Kommission
Europäisches Klimagesetz	Element des europäischen Grünen Deals; verpflichtet die EU-Länder rechtlich zur Einhaltung der Klimaziele	29.7.2021: Verordnung
Net-Zero Industry Act (NZIA)	Pläne zum Ausbau der CO ₂ -Speicherkapazität; schafft Bedingungen für die Produktion von Nettonull-Technologien sowie Berichtspflichten zu CO ₂ -Speicherorten	16.03.2023: Entwurf 29.06.2024: Verordnung
Fit für 55	Vorschläge zur Überarbeitung und Aktualisierung der EU-Rechtsvorschriften, um EU-Maßnahmen an die Erreichung der Klimaziele anzupassen	14.07.2021: Mitteilung der EU-Kommission
Durchführungsverordnung(EU) 2024/2493	Aktualisierung der Überwachung von und der Berichterstattung über Treibhausgasemissionen gemäß der Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates	23.09.2024: Verordnung

EU-EHS (ETS)-Richtlinie	Internationales Emissionshandelssystem, das Vorschläge zur Aktualisierung der Rechtsvorschriften zu Klima, Energie und Verkehr beinhaltet	14.07.2021: Letzte Aktualisierungen der Richtlinie im Rahmen von Fit für 55 April 2023: Förmlich Annahme vom Rat
Permanent CCU Delegated Act	Definition der Voraussetzungen, unter denen Treibhausgasemissionen als dauerhaft chemisch in einem Produkt gebunden gelten, sodass sie am Ende ihrer Lebensdauer nicht in die Atmosphäre freigesetzt werden	30.07.2024: Delegierte Verordnung
CRCF-Verordnung (Carbon Removal Certification Framework)	Einheitliche Zertifizierung zur Entnahme von Kohlenstoff; freiwilliges Zertifizierungssystem, das europaweit einheitliche Standards definiert	30.11.2022: Verordnungsentwurf 10.04.2024: Vorläufige Einigung über Verordnung
EU-Bioökonomie-Strategie	Vorschläge zur Bewältigung der ökologischen, umweltbezogenen, energiebezogenen, Nahrungsmittel- und Rohstoffprobleme und ein entsprechender Aktionsplan	02.2012: Erste Veröffentlichung 10.2018: Aktualisierte Strategie 09.06.2022: Fortschrittsbericht
EU-Aktionsplan Kreislaufwirtschaft	Enthält 35 Aktionspunkte: Schaffung nachhaltiger Produkte, Integration des Kreislaufprinzips in Produktionsabläufe, Stärkung der Verbraucherposition, Fokussierung auf zentrale Sektoren und Minimierung von Abfall	11.3.2020: Mitteilung der Kommission

(Quelle: Eigene Darstellung nach BMZ (2019); BMWK (2024c), BMWK (2024f); European Union (2024); European Commission (o. J.b; 2012; 2020; 2021a, b, c; 2022; 2023; 2024a, b), Rat der EU & Europäischer Rat (o. J.))

Im Anschluss wird die Industrial Carbon Management Strategy näher betrachtet. Sie ist entscheidend, um die Klimaziele der EU zu erreichen, da sie einen umfassenden Rahmen für das Management und die Reduktion von CO₂-Emissionen schafft. Durch das Ziel, bis 2050 450 Millionen Tonnen CO₂ abzuscheiden und zu speichern, wird ein EU-weiter Ansatz gebraucht. Die Strategie zielt darauf ab, den Aufbau eines Binnenmarkts für CO₂ zu fördern und die bisher begrenzte Zahl industrieller Großprojekte deutlich zu erweitern (European Commission 2024d).

EU Industrial Carbon Management Strategy

Die Strategie für das industrielle Kohlenstoffmanagement (KOM(2024) 62) wurde am 6. Februar 2024 von der Europäischen Kommission verabschiedet (European Commission o. J.). Sie beinhaltet den aktuellen Stand des industriellen Kohlenstoffmanagements, zeigt die geplanten Entwicklungen bis zum Jahr 2050 und den dafür erforderlichen politischen Rahmen sowie die notwendigen Bedingungen zur Förderung industrieller Kohlenstoffmanagementstrategien auf (European Commission 2024a). In der Strategie laufen die wichtigsten Entwicklungen der letzten Jahre zusammen, sie fungiert für die Europäische Kommission damit wie ein Arbeitsprogramm.

Das industrielle CO₂-Management umfasst im Verständnis der Europäischen Kommission "die Ab-

scheidung von CO₂ aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe, industriellen Prozessen, biogenen Emissionen oder direkt aus der Luft“ (European Commission 2024e, S. 1). Das abgeschiedene CO₂ wird entweder für industrielle Anwendungen genutzt oder dauerhaft unterirdisch gespeichert. Das Speichern von CO₂ aus biogenen Quellen oder der Luft trägt zum Abbau von CO₂ bei (Carbon Dioxide Removal, CDR) (European Commission 2024e). Diese drei Wege der CO₂-Abscheidung zur Speicherung (CCS), CO₂-Entfernung aus der Atmosphäre und CO₂-Abscheidung zur Nutzung (CCU) stellen die Grundlage des industriellen Kohlenstoffmanagement dar. Die wichtigste Voraussetzung für die Umsetzung dieser Prozesse ist die CO₂-Transportinfrastruktur (European Commission 2024a).

Mit dem Ziel der Förderung des industriellen CO₂-Managements hat die EU-Kommission einen umfangreichen Plan entwickelt, der alle Aspekte der CO₂-Wertschöpfungskette berücksichtigen soll. Sie verfolgt mit der Strategie das Ziel, einen Binnenmarkt für das CO₂-Management in der EU zu schaffen. Dazu soll ein einheitlicher EU-weiter Rahmen etabliert werden, der eine bessere Koordination von Investitionen sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene ermöglicht und verschiedene politische Ansätze bündelt (European Commission 2024a, 2024e).

Die Strategie der EU beinhaltet ein abgestuftes Zeit- und Mengengerüst, welches den Hochlauf bis 2050 sichern soll. Es sollen bis 2030 erste CO₂-Infrastrukturzentren und Industriecluster entstehen, bis 2040 sollen CO₂-Wertschöpfungsketten wirtschaftlich stabil sein und bis dahin 280 Millionen Tonnen CO₂ abgeschieden werden. Die Zielmenge bis 2050 liegt bei etwa 450 Millionen Tonnen abgeschiedenem CO₂. Bis 2040 sollen ca. 50 % des jährlich abgeschiedenen CO₂ aus biogenen Quellen oder durch die Entnahme aus der Atmosphäre gewonnen werden. Ein wesentlicher Bestandteil dieses Hochlaufs ist die Entwicklung einer grenzüberschreitenden CO₂-Transportinfrastruktur.

Um die Ziele zu erreichen, ist eine deutliche Erweiterung des CO₂-Managements in Europa notwendig. Es werden erforderliche Maßnahmen genannt, um die Entwicklung eines gut funktionierenden CO₂-Marktes in der EU voranzutreiben, aus denen sich unter anderem die folgenden Umsetzungsnotwendigkeiten ergeben (European Commission 2024a):

Infrastruktur

- Ausbau einer grenzüberschreitenden Transport- und Speicherinfrastruktur für einen CO₂-Binnenmarkt
- Entwicklung eines einheitlichen politischen Rahmens

Innovation, Umsetzung und Finanzierung

- Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten für Forschung, Innovation und Umsetzung
- Entwicklung eines politischen und regulatorischen Rahmens, um Sicherheit und Anreize für Investitionen zu bieten

Förderung von Innovationen

- Förderung von Entwicklung und Demonstrationsprojekten, um innovative Technologien zur Kohlenstoffentnahme weiterzuentwickeln und ihre Wirtschaftlichkeit zu verbessern
- Plattform zur Förderung der Zusammenarbeit und den Wissensaustausch für CCUS- Projekte

Gesellschaftliche Akzeptanz

- Kooperation mit Mitgliedstaaten und der Industrie, um das Bewusstsein und Verständnis für Technologien des industriellen Kohlenstoffmanagements zu fördern
- Aktive Partizipation von betroffenen und beteiligten Akteuren

Internationale Zusammenarbeit

- Internationale Austauschprogramme und Workshops zum industriellen Kohlenstoffmanagement
- Enge Zusammenarbeit mit Drittländern, um Marktöffnungen, insbesondere für öffentliche Aufträge, zu gewährleisten

Am 15. Dezember 2021 veröffentlichte die EU-Kommission mit der Mitteilung „Nachhaltige Kohlenstoffkreisläufe“ (COM(2021) 800 final) erste Vorgaben. Am 30. November 2022 erfolgte die Annahme eines Vorschlags für eine Verordnung zur Schaffung eines Zertifizierungsrahmens der Union für den CO₂-Abbau (KOM(2022) 672). Im November 2023 veröffentlichte die Kommission eine Analyse der Rückmeldungen von Interessenvertreter*innen und Bürger*innen zur Industrial Carbon Management Strategy (European Commission o.J.a). Die Strategie folgte der öffentlichen Konsultation aus 2023 und stützt sich auf die vorangegangenen Aktivitäten des CCUS-Forums sowie Initiativen mehrerer Mitgliedstaaten (European Commission 2024c). Die Mitteilung der EU-Kommission zur Industrial Carbon Management Strategie umfasst allerdings vorerst lediglich Vorschläge und Empfehlungen (IHK 2024). Die Auswahl der besten Anwendungsbereiche auf nationaler Ebene wird von den Mitgliedstaaten selbst getroffen (European Commission 2024d). Sie bildet aber eine Grundlage für zukünftige Gesetzesentwürfe und sollte als Orientierung für die neu eingesetzte Kommission nach den Wahlen im Juni 2024 dienen (IHK 2024). Der europäische CO₂-Markt befindet sich noch in einer frühen Entwicklungsphase und ist geprägt von Unsicherheiten hinsichtlich der Preise sowie einem Mangel an gesetzlichen Rahmenbedingungen und einheitlichen Standards (IHK o. J.).

USA

Inflation Reduction Act (IRA)

Die US-Regierung setzte unter der Präsidentschaft von Joe Biden mehrere Investitions- und Subventionsprogramme zur Stärkung der US-Wirtschaft um. 2021 wurde ein Infrastrukturprojekt mit 1,2 Billionen USD (Infrastructure Investment and Jobs Act (IIJA)) auf den Weg gebracht. Ein Jahr später folgte der CHIPS and Science Act mit einem Volumen von 280 Milliarden USD. Auch der Inflation Reduction Act (IRA) war schon für Dezember 2021 geplant, er bekam zu dieser Zeit jedoch nicht genug Unterstützung (ifo Institut 2023). Am 16. August 2022 unterzeichnete Joe Biden schließlich den IRA, welcher der Stärkung der US-amerikanischen Wettbewerbsfähigkeit dienen sollte, insbesondere über Investitionen und Subventionen in Klimaschutztechnologien (The White House 2023a, The White House 2023b).

Der IRA ist ein Gesetz, welches insbesondere Förderprojekte für den Klimaschutz vorsieht (NWS 2022). Insgesamt besteht der IRA aus zwei weiteren Säulen. Eine beabsichtigt die Reform der Gesundheitsversorgung und die andere der Unternehmensbesteuerung zur Gegenfinanzierung (The White House 2022). Der IRA stellt eine Fördersumme in Höhe von 369 Mrd. US-Dollar für die Förderung von Technologien mit geringen oder keinen Treibhausgasemissionen zur Verfügung und zielt insbesondere auf die Dekarbonisierung des Energiesektors. Dabei sind 70% des Förder Volumens für private Haushalte eingeplant, überwiegend durch Anreize in Form von Steuergutschriften zur Investition in emissionsarme Technologien (Grimm et al. 2023).

Der IRA enthält somit ein weitreichendes Paket an Steuervorteilen für nachhaltige Energien und die Industrie. Darin enthalten sind sehr ehrgeizige Anreize für den Einsatz von Technologien zum

Kohlenstoffmanagement, wie etwa die Kohlenstoffabscheidung, die Direktluftabscheidung sowie die Überführung von abgeschiedenen Kohlenstoffemissionen in Produkte (Department of Energy 2023). Die größten Verbesserungen der Bundessteuervergünstigung beinhalten höhere Kreditbeträge von 85 US-Dollar pro Tonne für die Abscheidung und Speicherung von Kohlenstoffemissionen aus Industrieanlagen und Kraftwerken sowie 180 US-Dollar pro Tonne für Direktluftabscheidungsanlagen. Zusätzlich wird die Gutschrift für Projekte, die bis Ende 2032 mit dem Bau beginnen, um zehn Jahre verlängert. Unternehmen können die Gutschrift 12 Jahre lang beanspruchen. Zudem wurde die Förderung auf kleinere Industrieanlagen, Stromerzeugungsanlagen und Direktluftabscheidungsanlagen ausgeweitet (Department of Energy 2023).

Laut dem ifo Institut (2023) kann das erhebliche Fördervolumen des IRA nicht nur die US-Wirtschaft, sondern auch andere Länder beeinflussen. Durch enge globale Handelsbeziehungen könnten die USA für international agierende Unternehmen zur Produktion oder Investition interessant werden. Relevant für Europa ist z. B. die prognostizierte Verringerung des LNG-Gasverbrauchs in den USA, die langfristig die Exporte steigern könnte. Bezüglich der gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen des IRAs gibt es jedoch unterschiedliche Einschätzungen. Der Sachverständigenrat Wirtschaft stimmt den Befürchtungen nur begrenzt zu. Er schätzt, dass er nur geringe Auswirkungen auf die EU haben wird. Er sieht ebenfalls die Möglichkeit des Investitionsanreizes für Unternehmen der EU in den USA. Sie erwarten allerdings, dass sich z. B. die existierenden Energiepreisunterschiede mehr auswirken als der IRA (Grimm et al. 2023).

Der Inflation Reduction Act ist für die USA vorteilhaft, da er die Wettbewerbsfähigkeit des Landes stärkt, indem er die heimische Produktion von Technologien für erneuerbare Energien fördert und so die Position der USA in den globalen Lieferketten für saubere Energie verbessert. Eine Aufhebung des IRA durch den Präsidentschaftswechsel zu Donald Trump würde der US-Wirtschaft sehr wahrscheinlich schaden, zum Verlust von Fabriken, Arbeitsplätzen, Steuereinnahmen sowie Exporten im Wert von bis zu 50 Milliarden US-Dollar führen. Zudem könnte es gleichzeitig anderen Ländern, darunter Wettbewerber wie China, Investitionen im Umfang von 80 Milliarden US-Dollar ermöglichen. Die Abschaffung des IRA würde die USA also daran hindern, eine führende Rolle im Bereich sauberer Technologien einzunehmen. Dies würde den Fortschritt der Energiewende in den USA nicht aufhalten, genauso wenig weltweit, aber es würde die Chance der USA auf eine bedeutende Stellung in den globalen Wertschöpfungsketten der zukünftigen Energiewirtschaft erheblich mindern. Darüber hinaus wurde der IRA so gestaltet, dass eine politische Rücknahme erschwert wird und es gibt wachsende überparteiliche IRA-Fraktionen, die sich auf die durch den IRA geschaffenen Vorteile für grüne Interessen und Wähler stützen (Allan & Sahay 2024).

Nach der Wahl von Donald Trump zum US-Präsidenten im November 2024 hat seine Administration Schritte unternommen, den Inflation Reduction Act zu überarbeiten und teilweise zurückzunehmen.

8.7 Zusammenfassung und Fazit

In diesem Bericht werden aktuelle Politikprozesse auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene zur Etablierung von regulatorischen Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft dargestellt und auch ein Blick auf die US-amerikanische Investitionsförderung in diesem Bereich geworfen. Mit den in Deutschland und der EU initiierten Instrumenten sollen verlässliche Regelungen für die Speicherung, Nutzung und den Transport von CO₂ geschaffen werden. Ziele sind der Abbau von Rechtsunsicherheiten und das Anstoßen von privatwirtschaftlichen Investitionen in die erforderlichen Technologien und benötigte Infrastruktur.

Die dargestellten Langfriststrategien im für Deutschland relevanten Mehrebenen-Governance System sollen, zusammen mit anderen Instrumenten des Klimaschutzes, einen Gesamtrahmen für eine Industrietransformation in Richtung Klimaneutralität schaffen. Die Instrumente fokussieren dafür auf einen nachhaltigen Umgang mit nicht oder schwer vermeidbaren Emissionen in Industriesektoren wie der Zementindustrie und Abfallwirtschaft. Dafür soll neben einer Abscheidung und Speicherung von CO₂, auch eine Nutzung in Sektoren wie der Chemieindustrie ermöglicht werden.

Die aktuellen Beschlüsse verdeutlichen, dass die entscheidungsbefugten Akteure auf den unterschiedlichen Politikebenen Kohlenstofftechnologien eine große Bedeutung für die Erreichung von Klimaneutralität und Netto-Negativemissionen zuweisen. Sie zeigen wichtige strategische Weichenstellungen für Kernbereiche des Kohlenstoffmanagements auf. Eine abschließende Gesamtbewertung der hier dargestellten Instrumente ist aufgrund der fortlaufenden Politikprozesse und sich etwa aus den vorgezogenen Bundestagswahlen ergebenden Verzögerungen allerdings noch nicht möglich.

8.8 Literatur

Allan, B.; Sahay, T. (2024): *Trump's proposed clean energy retreat: US costs and global reward*. Net Zero Industrial Policy Lab, Special Report. URL: https://static1.squarespace.com/static/64ca7e081e376c26a5319f0b/t/672c397142465d519ce5515a/1730951538390/NZIPL-PS1_Trump_Retreat.pdf

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2024): *Transfer in die Praxis*. Bundesagentur für Sprunginnovationen (SPRIND). URL: <https://www.bmbf.de/DE/Forschung/TransferInDiePraxis/AgenturFuerSprunginnovationen/agenturfuersprunginnovationen.html> (abgerufen am 11.12.2024).

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2024a): *Eckpunkte der Bundesregierung für eine Carbon Management-Strategie*. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/eckpunkte-der-bundesregierung-fuer-eine-carbon-management-strategie.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (abgerufen am 07.11.2024)

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2024b): *FAQ zu CCS und CCU*. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/F/FAQ/faq-ccs-ccu.pdf?__blob=publicationFile&v=10 (abgerufen am 07.11.2024)

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2024c): *Langfriststrategie Negativemissionen zum Umgang mit unvermeidbaren Restemissionen (LNe) - Eckpunkte* -. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/240226-eckpunkte-negativemissionen.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (abgerufen am 07.11.2024)

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2024d): *Negativemissionen CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre*. URL: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/negativemissionen.html> (abgerufen am 07.11.2024)

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2024e): *Gesetzentwurf der Bundesregierung Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes*. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/entwurf-eines-gesetzes-zur-aenderung-des-kohlendioxid-speicherungs-gesetzes.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (abgerufen am 13.11.2024)

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2024f): *Net Zero Industry Act tritt in Kraft – Habeck: „Ein Gesetz für Beschleunigung, Bürokratieabbau und Investitionen“*. Pressemitteilung vom 29.06.2024. URL: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/06/20240629-net-zero-industry-act-tritt-in-kraft.html>.

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) (2019): *European Green Deal*. URL: <https://www.bmz.de/de/service/lexikon/european-green-deal-118284>.

Deutsche Energie-Agentur (dena) (2024): *Carbon-Management-Strategie*. URL: <https://www.dena.de/projekte/carbon-management-strategie-cms/> (abgerufen am 28.11.2024).

Department of Energy (2023): *Inflation Reduction Act: A Historic Investment in Climate, Communities, and Jobs*. URL: <https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-11/IRA%20and%20Carbon%20Management%20Opportunities%20in%20Texas%20Nov%2014%202023%20v2%20reduced%20file%20size.pdf>.

Deutscher Bundestag (2022): *Unterrichtung durch die Bundesregierung. Evaluierungsbericht der Bundesregierung zum Kohlendioxid-Speicherungsgesetz*. Drucksache 20/5145, 22.12.2022. URL: <https://dserver.bundestag.de/btd/20/051/2005145.pdf> (abgerufen am 08.11.2024).

Deutscher Bundestag (2024): *Gesetzentwurf der Fraktion der CDU/CSU. Entwurf eines CO₂-Export-Ermöglichungsgesetzes*. Drucksache 20/12084, 02.07.2024. URL: <https://dserver.bundestag.de/btd/20/120/2012084.pdf> (abgerufen am 14.11.2024).

European Commission (2012): *Innovation für nachhaltiges Wachstum – Eine Bioökonomie für Europa*. URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2777/6462> (abgerufen am 19.11.2024).

European Commission (2020): *Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft. Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa*. COM(2020) 98 final. 11.3.2020. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM%3A2020%3A98%3AFIN> (abgerufen am 19.11.2024).

European Commission (2021a): *Updating the 2020 New Industrial Strategy: Building a stronger Single Market for Europe's recovery*. COM(2021) 350 final. URL: https://commission.europa.eu/document/download/9ab0244c-6ca3-4b11-bef9-422c7eb34f39_en?filename=communication-industrial-strategy-update-2020_en.pdf&prefLang=de (abgerufen am 19.11.2024).

European Commission (2021b): *Verordnung (EU) 2021/1119 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Juni 2021 zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 401/2009 und (EU) 2018/1999 („Europäisches Klimagesetz“)*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32021R1119> (abgerufen am 19.11.2024).

European Commission (2021c): *„Fit für 55“: auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU- Klimaziels für 2030*. COM(2021) 550 final. 14.7.2021. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550> (abgerufen am 19.11.2024).

European Commission (2022): *Fortschrittsbericht zur Bioökonomie-Strategie der EU. Europäische Bioökonomiepolitik: Bestandsaufnahme und künftige Weiterentwicklung*. COM(2022) 283 final. 09.06.2022. URL: https://bio.nrw.de/wp-content/uploads/2022/06/CELEX_52022DC0283_DE_TXT.pdf (abgerufen am 19.11.2024).

European Commission (2023): *Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on establishing a framework of measures for strengthening Europe's net-zero technology products manufacturing ecosystem (Net Zero Industry Act)*. URL: https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/net-zero-industry-act_en.

European Commission (2024a): *Auf dem Weg zu einem ehrgeizigen industriellen Kohlenstoffmanagement für die EU*. KOM(2024) 62 endgültig. 06.02.2024. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2024:62:FIN> (abgerufen am 19.11.2024).

European Commission (2024b): *Commission Delegated Regulation (EU) 2024/2620 of 30 July 2024 supplementing Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council as regards the requirements for considering that greenhouse gases have become permanently chemically bound in a product*. C(2024) 5294 final. 30.07.2024. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2024/2620/oj (abgerufen am 19.11.2024).

European Commission (2024c): *Commission sets out how to sustainably capture, store and use carbon to reach climate neutrality by 2050*. Press Release, 06.02.2024. URL: https://ec.europa.eu/commission/press-corner/detail/en/ip_24_585 (abgerufen am 19.11.2024).

European Commission (2024d): *Questions and Answers on the EU Industrial Carbon Management Strategy*. Strasbourg, 06.02.2024. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_24_586 (abgerufen am 21.11.2024).

European Commission (2024e): *Industrial Carbon Management. Capturing, storing and using CO₂ to reach our climate goals*. Februar 2024. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ae697359-d210-11ee-b9d9-01aa75ed71a1>

European Commission (o. J.a.): *Industrial carbon management*. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/carbon-management-and-fossil-fuels/industrial-carbon-management_en.

European Commission (o. J.b): *Carbon Removals and Carbon Farming*. URL: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-removals-and-carbon-farming_en (abgerufen am 19.11.2024).

European Union (2024): *Durchführungsverordnung (EU) 2024/2493 der Kommission vom 23. September 2024 zur Änderung der Durchführungsverordnung (EU) 2018/2066 in Bezug auf die Aktualisierung der Überwachung von und der Berichterstattung über Treibhausgasemissionen gemäß der Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates*. 27.9.2024. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32024R2493> (abgerufen am 19.11.2024).

Grimm, V.; Malmedier, U.; Schnitzer, M.; Truger, A.; Werding, M. (2023): *Der Inflation Reduction Act: Ist die neue US-Industriepolitik eine Gefahr für Europa?*. Policy Brief 1/2023. Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung. URL: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/PolicyBrief/Policy_Brief_2023_01.pdf

ifo Institut (2023): *Die Betroffenheit der deutschen Wirtschaft durch den US-Inflation Reduction Act*. Studie im Rahmen des BMF-Forschungsauftrags fe 3/19: Rahmenvertrag Wissenschaftliche (Kurz-) Expertisen zu Grundsatzfragen der Finanz-, Steuer- und Wirtschaftspolitik. URL: <https://www.ifo.de/publikationen/2023/monographie-autorenschaft/die-betroffenheit-der-deutschen-wirtschaft>.

IHK (2024): *Neue Wege für das europäische Klimaziel 2040: Industrial Carbon Management Strategie vorgestellt*. Stand: 27.02.2024. URL: <https://www.ihk.de/braunschweig/beratung-und-service/umwelt-und-energie/umwelt/nachhaltigkeit/industrial-carbon-management-strategie-vorgestellt-6078230> (abgerufen am 21.11.2024).

IHK (o. J.): *Klimaschutz: Europäisches Klimaziel und Industrial Carbon Management Strategie vorgelegt*. URL: <https://www.ihk.de/karlsruhe/fachthemen/klimaschutzemissionshandel/aktuelle-meldungen-klimaschutz/klimaschutz-europaisches-klimaziel-und-industrial-6062568> (abgerufen am 21.11.2024).

Internationale Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR) (2023): *BMWK startet Stakeholderdialog zur Carbon Management-Strategie*. URL: <https://www.iwr.de/ticker/auftaktveranstaltung-bmwk-startet-stakeholderdialog-zur-carbon-management-strategie-artikel5311>

Landesregierung Baden-Württemberg (2024a): *Land positioniert sich zu Carbon Management*. Pressemitteilung. URL: <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/land-positioniert-sich-zu-carbon-management> (abgerufen am 20.11.2024).

Landesregierung Baden-Württemberg (2024b): *Positionspapier der Landesregierung Baden-Württemberg zu Carbon Management*. URL: https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/dateien/PDF/Anlagen_PMs_2024/241015_Positionspapier-Carbon-Management-BW-2024.pdf (abgerufen am 20.11.2024).

Landtag Baden-Württemberg (2023): *Gesetz zum Erlass eines Klimaschutz und Klimawandelanpassungsgesetzes und zur Verankerung des Klimabelangs in weiteren Rechtsvorschriften*. Landtag von Baden-Württemberg 17. Wahlperiode. Drucksache 17 / 4015. URL: https://www.landtag-bw.de/files/live/sites/LTBW/files/dokumente/WP17/Drucksachen/4000/17_4015_D.pdf (abgerufen am 20.11.2024).

Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIKE) (o. J.): *Carbon Management*. URL: <https://www.klimaschutz.nrw.de/themen/carbon-management> (abgerufen am 21.11.2024).

Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIKE) (2024): *Förderwettbewerb für "CCU-Modellregionen NRW" zur nachhaltigen Nutzung von CO₂ startet*. URL: <https://www.wirtschaft.nrw/foerderwettbewerb-fuer-ccu-modellregionen-nrw-zur-nachhaltigen-nutzung-von-co2-startet> (abgerufen am 27.11.2024).

Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE) (2021a): *Kohlenstoff kann Klimaschutz. Carbon Management Strategie Nordrhein-Westfalen*. URL: https://www.wirtschaft.nrw/sites/default/files/documents/mwide_carbon_management_strategie_barrierefrei.pdf (abgerufen am 21.11.2024).

Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE) (2021b): *Kohlenstoff kann Klimaschutz. Carbon Management Strategie Nordrhein-Westfalen*. Executive Summary. URL: https://www.wirtschaft.nrw/sites/default/files/documents/mwide_br_carbon_management_strategie_summary_deu_bf-web.pdf (abgerufen am 21.11.2024).

Nationaler Wasserstoffrat (NWS) (2022): *Stellungnahme - Einschätzung zum Inflation Reduction Act*. 09.12.2022. URL: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/2022-12-09_NWR-Stellungnahme_Inflation-Reduction-Act.pdf

Rat der EU & Europäischer Rat (o. J.): *„Fit für 55“: Reform des EU-Emissionshandelssystems*. URL: <https://www.consilium.europa.eu/de/infographics/fit-for-55-eu-emissions-trading-system/> (abgerufen am 26.11.2024)

SPRIND (2024a): *FAQ*. URL: <https://www.sprind.org/faq> (abgerufen am 11.12.2024).

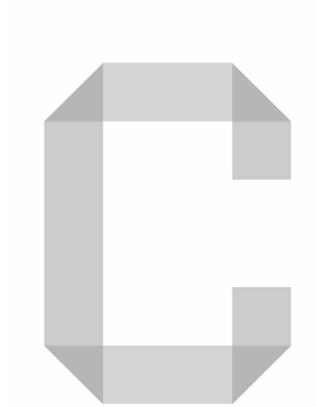
SPRIND (2024b): *Ihre Challenge: Carbon-to-Value*. URL: <https://www.sprind.org/impulse/challenges/carbon-to-value#ihre-challenge-br-carbonto-value-> (abgerufen am 11.12.2024).

The White House (2022). *By The Numbers: The Inflation Reduction Act*. 15.08.2022. URL: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/08/15/by-the-numbers-the-inflation-reduction-act/>

The White House (2023a): *Inflation Reduction Act Guidebook*. URL: <https://www.whitehouse.gov/cleanenergy/inflation-reduction-act-guidebook/#:~:text=The%20Inflation%20Reduction%20Act%20specifies,mode%20or%20condition%2C%20low%20or>

The White House (2023b): *Building a clean energy economy: A guidebook to the inflation reduction act's investments in clean energy and climate action*. URL: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/12/Inflation-Reduction-Act-Guidebook>.

TEILBERICHT IX



Kohlenstoffwirtschaft im Wandel: Strategien für Klimaneutralität im Mitteldeutschen Revier.

Eine Roadmap zur Transformation

9.1 Einführung: Eine Roadmap zur Transformation in der Kohlenstoffwirtschaft

Die Transformation der Kohlenstoffwirtschaft hin zur Klimaneutralität ist ein komplexer Prozess, der aufgrund der Vielschichtigkeit der Kohlenstoffströme, ihrer Verbreitung, Vermarktung und Aufbereitung langfristig betrachtet werden muss. Obwohl mit dem Ziel der Klimaneutralität ein klarer Zielpunkt definiert ist, bleiben entlang der Zeitachse zahlreiche unterschiedliche und vorstellbare Pfade denkbar. Ziel der Roadmap ist eine vereinfachte Darstellung der erforderlichen Schritte, um die definierten Ziele zu erreichen. Komplexe Herausforderungen, die gemeinsam mit zahlreichen unterschiedlichen Akteuren bewältigt werden müssen, erfordern einen solchen grob skizzierten Fahrplan, um Synergien zu identifizieren und Hindernisse kooperativ zu überwinden. Diese Roadmap erleichtert die Visualisierung komplexer Zusammenhänge entlang einer Zeitachse. Durch eine Kombination zeitlicher und logischer Verknüpfungen entsteht idealerweise ein gemeinsames Verständnis des Prozesses, das als Grundlage für weiterführende Diskussion dienen kann.



Abb. 9.1: Skizze einer Roadmapstruktur

9.2 Studienauftrag für den Teilbericht IX

Auf Basis der Arbeiten der Teilberichte I - VIII skizziert das Wuppertal Institut eine Roadmap für eine Kohlenstoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier. Kernpunkte werden Angaben zu wegfallenden fossilen Stoffströmen und Prozessketten, mögliche neue Wertschöpfungsketten und deren Verortung auf einer Zeitskala bis 2045. Zusätzlich werden den einzelnen Komponenten Chancen und Herausforderungen zugeordnet, zum Beispiel welche fossilen Kohlenstoffströme durch welche Stoffströme und Technologien ersetzt werden können und welche politischen Rahmenbedingungen geklärt werden müssen. Die Roadmap macht deutlich, in welcher Reihenfolge welche wirtschaftlichen Potentiale aus heutiger Sicht vorhanden sind und welche Themen in der weiteren Entwicklung des Reviers angegangen werden sollten. Aufgrund der heutigen Datenlage wird diese Roadmap noch keine Hinweise für jahresscharfe Investitionsempfehlungen geben können.

9.3 Methodik und Systemgrenzen

Auf Basis der Arbeiten der einzelnen Teilberichte skizziert das Wuppertal Institut eine Roadmap für eine Kohlenstoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier. Kernpunkte sind Angaben zu wegfallenden fossilen Stoffströmen und Prozessketten, mögliche neue Wertschöpfungsketten und deren Verortung auf einer Zeitskala bis 2045. Zusätzlich werden den einzelnen Komponenten Chancen und Herausforderungen zugeordnet.

Die einzelnen Teilberichte werden zusammengefasst, die im Rahmen der Studie „Strukturwandel – Kohlenstoffbasierte Industrien in Mitteldeutschland auf dem Weg in neue Märkte – Wirtschaftliche Ausgangslage und Entwicklungspotentiale“ durch das Wuppertal Institut und Arvid Friebe zwischen Mai 2024 und Februar 2025 bearbeitet wurden. Die einzelnen Teilberichte adressieren Themen mit unterschiedlichen Systemgrenzen. Im Teilbericht werden die Unternehmen des mitteldeutschen Reviers betrachtet, der Untersuchungsraum bezieht neben den im Investitionsgesetz Kohleregionen genannten Gemeinden und Gemeindeverbänden (Landkreis Leipzig, Stadt Leipzig, Landkreis Nord-sachsen, Burgenlandkreis, Saalekreis, kreisfreie Stadt Halle, Landkreis Mansfeld-Südharz, Landkreis Anhalt-Bitterfeld) noch die Landkreise Salzlandkreis, Wittenberg, Altenburger Land so wie die Stadt Dessau-Roßlau mit ein.

Die Methodik zur Auswertung der Veränderungsintensität ausgewählter Unternehmen im mitteldeutschen Revier wird in Kapitel 9.4.2 beschrieben, die Methodik zur Ableitung von Strategien als Grundlage für eine Roadmap in Kapitel 9.4.2-9.4.3. Der Teilbericht wurde im Zeitraum zwischen Mai 2024 und Februar 2025 erstellt.

9.4 Roadmap für eine klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft

9.4.1 Unternehmen im Wandel: Veränderungspotential

Methodik

Es gibt eine Vielzahl an Unternehmen, die von den Veränderungen durch die Transformation hin zur Klimaneutralität betroffen sind. Eine statistische Analyse der aktuell kohlenstoffintensiven Unternehmen zeigt vor allem solche auf, die entweder große Energiemengen umwandeln oder fossile Rohstoffe in hohem Maße verarbeiten. Das Ziel der Klimaneutralität wird jedoch langfristig alle Unternehmen beeinflussen, auch wenn der Grad der Betroffenheit erheblich variiert. Für einen beispielhaften Blick wurde eine Liste der 10 nach Arbeitsplätzen größten Unternehmen in Sachsen-Anhalt Stand 2021 (Nord/LB 2021) analysiert und deren Veränderungsintensität nach Scopes eingeordnet. Die Veränderungsintensität beschreibt hier qualitativ das Ausmaß und die Dringlichkeit der notwendigen Anpassungen, die ein Unternehmen vornehmen muss, um auf externe und interne Herausforderungen zu reagieren und wettbewerbsfähig zu bleiben. Diese kann sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf das Unternehmen haben.

Die Aufteilung wurde nach Scopes (World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development 2004) strukturiert. Scopes sind Kategorien, die dabei helfen, die Quellen von Treibhausgasemissionen eines Unternehmens systematisch zu erfassen.

- Scope 1 sind direkte Treibhausgasemissionen aus Quellen, die zu den Unternehmen gehören oder von ihnen kontrolliert werden. Dazu gehören z. B. Emissionen aus der Wärmeversorgung, aus eigenen Anlagen oder aus Produktion von chemischen Grundstoffen.
- Scope 2 sind indirekte Emissionen, die zum Beispiel aus dem Zukauf von Elektrizität oder Wärme außerhalb des Unternehmens entstehen.
- Scope 3 sind andere indirekte Emissionen, die aus der wirtschaftlichen Tätigkeit der Unternehmen in der vor- oder nachgelagerten Wertschöpfungskette entstehen.

Die Betrachtung der Scopes in diesem Kapitel erfolgt aus der Perspektive einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie dient lediglich dazu, bestimmte Veränderungsnotwendigkeiten innerhalb der Scopes zu veranschaulichen und darzustellen. Die Anwendung der Scopes auf Unternehmen basiert auf öffentlich verfügbaren Informationen. Zum Beispiel wird bei der Betrachtung eines großen Logistikunternehmens auf dessen grundsätzliche Dienstleistungen zurückgegriffen. Falls ein Logistikunternehmen eine eigene Flugzeugflotte besitzt, wird davon ausgegangen, dass das Unternehmen insgesamt mit einer Transformationsherausforderung konfrontiert ist. Ob diese Herausforderung konkret für die Niederlassungen im Mitteldeutschen Revier zutrifft, wird jedoch nicht im Detail geprüft. Aus dieser Betrachtung lässt sich eine allgemeine Orientierung zur Intensität der Veränderungsprozesse ableiten. Weitere, vertiefende Untersuchungen wären zwar interessant, fallen jedoch nicht in den Rahmen dieser Studie.

Die genaue Definition der Zuordnung der Veränderungsintensität zu den einzelnen Scopes wird in Tabelle 9.1 dargestellt:

Tabelle 9.1: Zuordnung von Veränderungsintensitäten nach Scopes

Kategorie	Geringe Veränderungsintensität	Mittlere Veränderungsintensität	Hohe Veränderungsintensität
Scope 1	Wenige und leicht zu ersetzende direkte Emissionsquellen (z. B. bei reinen Dienstleistungsunternehmen)	Direkte Emissionsquellen können durch Effizienzmaßnahmen und Substitution fossiler Brennstoffe ohne Geschäftsmodelländerung ersetzt werden	Hoher Energiebedarf, spezielle Temperaturniveaus oder starke Integration in die Prozess- und Wertschöpfungskette machen Ersatz schwierig
Scope 2	Geringer Energieverbrauch; Strom, Wärme oder Kälte kann am Markt klimaneutral bezogen werden	Nennenswerter Energieverbrauch; Umstellung auf klimaneutrale Alternativen in Kombination mit Effizienzsteigerungen möglich	Hoher Energieverbrauch; klimaneutrale Alternativen aufgrund von Infrastruktur oder Kostensteigerungen schwer umsetzbar
Scope 3	Geringe Nutzung von Kohlenstoffverbindungen; nicht entscheidend für das Geschäftsmodell	Nutzung von Kohlenstoffverbindungen im Geschäftsmodell; klimaneutrale Alternativen oder Materialien sind absehbar verfügbar	Umfangreiche Nutzung von Kohlenstoffverbindungen; Ersatz durch klimaneutrale Alternativen ist aufgrund von Menge, Struktur oder Kosten nicht möglich.

Ergebnisse

Die 10 größten Unternehmen in Sachsen-Anhalt*	Absehbare Veränderungen durch eine klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft	Scope 1	Scope 2	Scope 3	Gesamt
Deutsche Bahn AG	Rückgang Kohletransporte, Dieselverbrauch, Gebäudewärme	mittel	mittel	gering	mittel
Deutsche Post/DHL	Umstellung Treibstoff/Antrieb Flotte, Wärme	mittel	hoch	mittel	hoch
AMEOS	Flottenänderung, Änderung Kunststoffprodukte, Wärme	mittel	mittel	mittel	mittel
Universitätsklinikum Magdeburg	Flottenänderung, Änderung Kunststoffprodukte, Wärme	mittel	mittel	mittel	mittel
DOW Gruppe	Substitution fossile Rohstoffbasis, Prozesswärme	hoch	hoch	hoch	hoch
Universitätsklinikum Halle	Flottenänderung, Änderung Kunststoffprodukte, Wärme	mittel	mittel	mittel	mittel
Salus Altmark Holding	Flottenänderung, Änderung Kunststoffprodukte, Energie	mittel	mittel	mittel	mittel
Hermes Fulfillment GmbH	Umstellung Treibstoff Flotte, Wärme	mittel	hoch	mittel	hoch
Stadtwerke Halle	Umstellung Heizwärme, Umgang mit biogenen Reststoffen, Fuhrpark	hoch	hoch	hoch	hoch
IFA Gruppe	Rückgang Komponenten Verbrenner, Auswuchs Elektrofahrzeugkomponenten, Wärme	mittel	mittel	hoch	hoch

Abb. 9.2: Einordnung der 10 größten Unternehmen in Sachsen-Anhalt nach Veränderungsintensität durch die klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft (*Regionalwirtschaft Sachsen-Anhalt Report, 9.12.2021; Wuppertal Institut)

Die Abbildung 9.2 zeigt, dass bei allen der zehn größten Unternehmen in Sachsen-Anhalt Anpassungen innerhalb ihrer Wertschöpfungskette aufgrund der Transformation zur klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft erforderlich sind. Dieser Zusammenhang ist im Hinblick auf den Klimaschutz und die Klimaschutzziele der Bundesregierung, insbesondere im Kontext des Umstiegs auf erneuerbare Energien, bereits bekannt. Der Blickwinkel aus der Kohlenstoffwirtschaft ergänzt nun zahlreiche weitere Aspekte. Dies wird deutlich, wenn man sich die Unternehmen ansieht, die im Mitteldeutschen Revier heute mit Kohlenstoffen arbeiten. Insgesamt wurden 850 Unternehmen identifiziert, die auf Basis der vorhandenen statistischen Daten mit Kohlenstoff arbeiten oder bei denen Kohlenstoff einen wichtigen Stoffstrom darstellt. Dies kann man grob unterscheiden:

- Unternehmen, die Kohlenstoff bereitstellen (z. B. Braunkohleabbau, Land- und Forstwirtschaft)
- Unternehmen, die Kohlenstoff in Prozessen einsetzen oder freisetzen (Kalk/Zement, Gießereien)
- Unternehmen, die Kohlenstoff zur Erzeugung von Prozesswärme einsetzen (Gießereien)
- Unternehmen, die Kohlenstoff verarbeiten und umwandeln (Chemische Industrie)
- Unternehmen, die Brennstoffe für Logistik oder für Gewerbeimmobilien nutzen (Logistik, Dienstleistung)

Um einen genaueren Blick auf einzelne Akteure zu ermöglichen, wurden aus der Unternehmensliste in einer strukturierten Stichprobe 17 Unternehmen ausgewählt, welche die Bandbreite der Herausforderungen in Bezug auf die Transformation zu einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier darstellen. Diese Unternehmen wurden ebenfalls auf die Veränderungsintensität hin analysiert.

Tabelle 9.2: Veränderungsintensität im Rahmen der Transformation zur klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft nach Scopes (nach Zeiss 2025)

Firma	Scope 1	Scope 2	Scope 3
MIBRAG Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH (Kraftwerk Wählitz)	hoch	gering	hoch
TotalEnergies Raffinerie Mitteldeutschland GmbH	hoch	hoch	hoch
Dow Olefinverbund GmbH	hoch	hoch	hoch
SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH	hoch	hoch	hoch
IDT Biologika GmbH	hoch	mittel	gering
Serumwerk Bernburg AG	hoch	mittel	gering
Schüco PWS Produktions KG + Schüco PWS Kaschierungs KG	gering	gering	mittel
Folienwerk Wolfen GmbH	gering	gering	mittel
thomas zement GmbH	hoch	mittel	mittel
ZGG - Zeiter Guss GmbH	hoch	mittel	hoch
Aluminiumfolie Merseburg GmbH	hoch	mittel	hoch
MUEG Mitteldeutsche Umwelt- und Entsorgung GmbH	gering	gering	gering
REMONDIS PET Recycling Ost GmbH	mittel	gering	gering
Schade Logistic GmbH	hoch	gering	gering
EDL Anlagenbau Gesellschaft mbH	gering	gering	gering

Die Auswertung zeigt die unterschiedlichen Anforderungsebenen, denen Unternehmen in den unterschiedlichen Wertschöpfungsketten im Mitteldeutschen Revier unterliegen. Die Wertschöpfung von Unternehmen wie der MIBRAG, TotalEnergies und DOW basieren heute fast ausschließlich auf Basis fossiler Kohlenstoffe, daher ist dort auch ein sehr hoher Veränderungsdruck sichtbar. Die MIBRAG steht mit der Braunkohleförderung ganz am Anfang der Wertschöpfungskette, mit dem Kohleausstieg wird dieser Rohstoff nicht mehr gefördert oder genutzt. Die Nachfrage nach Strom und Wärme bleibt erhalten, alternative Optionen für die Strom- und Wärmeerzeugung sind aber vorhanden oder im Ausbau. Daher ist dort ein anderes Geschäftsmodell auf Kohlenstoffbasis nur schwer vorstellbar. Neue Geschäftsmodelle werden daher auf Kompetenzbasis entwickelt werden

müssen (Bergbau, Transport- und Fördertechnik, Engineering). Die Chemieindustrie (hier mit TotalEnergies und DOW) sind später in der Wertschöpfungskette angesiedelt und verarbeiten fossiles Rohöl. Auch hier bleibt die Nachfrage z. B. nach Kunststoffen und chemischen Vorprodukten erhalten, allerdings können hier auch klimaneutral erzeugte Kohlenstoffe aus anderen Quellen genutzt werden, der Wertschöpfungsschritt der Verarbeitung von Kohlenstoffen bleibt daher erhalten. Ein etwas andere Fall sind die SKW-Stickstoffwerke Piesteritz, die aufgrund ihres hohen Erdgaseinsatzes (auch zur Wasserstoffherzeugung) vor großen Herausforderungen stehen. Zusätzlich fällt ein Teil der klimawirksamen Treibhausgasemissionen erst bei der Düngung auf dem Acker an, was außerhalb der direkten Einflussnahme des Unternehmens liegt. Unternehmen wie die IDT Biologika GmbH und das Serumwerk Bernburg sind über ihre Prozess- und Wertschöpfungskette weniger betroffen, dort besteht wie in vielen anderen Unternehmen aber die Herausforderung, die Strom- und Wärmeerzeugung in Zukunft klimaneutral zu gestalten. Je nachdem, ob die Unternehmen über eigene Strom- und Wärmeerzeugungskapazitäten verfügen oder sich die Energie zuleiten lassen, liegen die Transformationsanforderungen im Scope 1 oder 2. Bei den Kunststoffverarbeitern sind unterschiedliche Ansätze sichtbar. Kunststoffverarbeitende Unternehmen wie Schüco oder das Folienwerk Wolfen sind darauf angewiesen, dass ihnen heute oder in Zukunft Rohstoffe zur Verfügung stehen, die nicht auf Basis fossiler Kohlenstoffträger erzeugt wurden. Zusätzlich bietet sich die Möglichkeit, die eigenen Produkte nach der Nutzungszeit zurückzunehmen und selber wieder einzusetzen oder zu recyceln. Beide Unternehmen bieten bereits Produkte aus biobasierten Stoffen und mit einem Anteil von Rezyklat an.

9.4.2 Vorgehen und Auswahl von Strategien

Zur strukturierten Herleitung einer Roadmap für die klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier wurde ein siebenstufiges Vorgehen entwickelt (Abbildung 9.3), das die Grundlage für eine umfassende Analyse und die Ableitung strategischer Handlungsempfehlungen bildet.

Schritt 1: Auswertung der Einzelpapiere aus der Basisstudie

Der erste Schritt umfasste die Analyse der Ergebnisse der Einzelstudien, die im Rahmen der Basisstudie des Forum Rathenau erstellt wurden. Diese Papiere bieten eine umfassende Übersicht über den aktuellen Stand der Kohlenstoffwirtschaft und beleuchten zentrale Aspekte, die für eine Transformation in Richtung Klimaneutralität von Bedeutung sind. Diese Dokumente wurden explizit dazu erstellt, eine strukturierte und fachlich umfangreiche Grundlage für diese Roadmap zu bieten.

Schritt 2: Analyse der Unternehmen im Mitteldeutschen Revier

Im zweiten Schritt wurden die im Mitteldeutschen Revier ansässigen Unternehmen untersucht und in Bezug auf ihre Relevanz für die Kohlenstoffwirtschaft kategorisiert. Ziel war es, die Unternehmen zu identifizieren, die bereits Teil dieser Wirtschaft sind oder eine zentrale Rolle in der Transformation spielen könnten. Diese Sammlung und Zuordnung schaffen eine wichtige Grundlage für die weiteren Analysen und strategischen Überlegungen.

Schritt 3: Interviews mit ausgewählten Unternehmen

Im dritten Schritt erfolgt eine qualitative Erhebung durch Interviews mit ausgewählten Unternehmen der Kohlenstoffwirtschaft. Diese Gespräche ermöglichen tiefere Einblicke in die spezifischen Herausforderungen, Perspektiven und Bedürfnisse der Unternehmen im Revier. Die Erkenntnisse aus

den Interviews ergänzen die zuvor gesammelten Daten und tragen dazu bei, ein differenziertes Bild der aktuellen Situation zu zeichnen.

Schritt 4: Zuordnung von Unternehmen zu Veränderungsintensitäten

Basierend auf einer Liste der zehn größten Unternehmen Sachsen-Anhalts sowie einer strukturierten Stichprobe aus der Unternehmensanalyse wurden Unternehmen hinsichtlich ihrer Veränderungsintensitäten im Rahmen der Transformation eingeordnet. Dadurch wurden Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Tiefe der Transformationsherausforderungen sichtbar und hinsichtlich der Wertschöpfungskette und Scopes dargestellt.

Schritt 5: Ableitung übergreifender Strategien

Auf Grundlage der Transformationsherausforderungen, die in den vorherigen Schritten identifiziert wurden, wurden im fünften Schritt übergreifende Strategien abgeleitet, die eine Grundlage für gemeinsame Veränderungen und Ansatzpunkte für gemeinsame Maßnahmen zeigen.

Schritt 6: Beschreibung der Strategien

Die entwickelten Strategien wurden im sechsten Schritt detailliert beschrieben. Dabei wurden das Ziel der Strategie, die notwendigen Voraussetzungen zur Zielerreichung, die beteiligten Akteure sowie mögliche Meilensteine definiert. Diese Strategien können eine Grundlage für tiefere Formate mit Akteuren sein und bieten sich als Handlungsschwerpunkte für das Mitteldeutsche Revier an.

Schritt 7: Visualisierung einer Roadmap

Der abschließende Schritt besteht in der Entwicklung einer Roadmap, die die gewonnenen Erkenntnisse und Strategien in eine anschauliche und strukturierte Form überführt und die vorgeschlagenen Maßnahmen auf einer Zeitachse anordnet. Dadurch werden zeitlich parallele Prozesse und mögliche Reihenfolgen in der Maßnahmenumsetzung sichtbar.

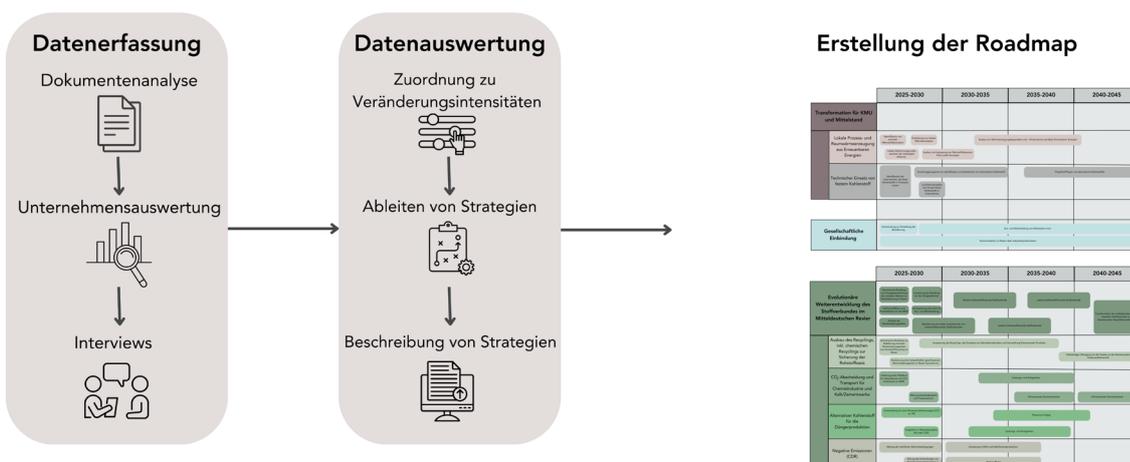


Abb. 9.3: Struktureller Ablauf der Roadmap-Erstellung

Auf Basis, der in den vorherigen Kapiteln betrachteten Änderungsintensitäten zu einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft lassen sich übergeordnete Strategien zur Änderung des Einsatzes von heute verwendeten fossil basierten Kohlenstoffen ableiten (Tabelle 9.3). Auch hier bieten die Scopes 1 – 3 eine orientierende Struktur.

Tabelle 9.3: Strategien zur Transformation von Unternehmen im Mitteldeutschen Revier nach Scopes

	Übergeordnete Strategien zur Transformation
Scope 1	<ul style="list-style-type: none"> • Abkehr von der Braunkohleverstromung • Abkehr von der Nutzung von Erdgas zur Strom- und Wärmeerzeugung • Lokale Prozess- und Raumwärmeerzeugung aus Erneuerbaren Energien • CO₂-Abscheidung und Transport für Chemieindustrie und Kalk/Zementwerke • Ersatz von strukturiertem fossilem Kohlenstoff in Gießereien • Alternative Logistikkonzepte ohne fossilen Diesel • Alternativer Kohlenstoff für die Düngerproduktion • Carbon Dioxid Removal (CDR)
Scope 2	<ul style="list-style-type: none"> • Alternative Erzeugungskapazitäten für Strom und Wärme aus EE • Alternativer Kohlenstoff für die Düngerproduktion
Scope 3	<ul style="list-style-type: none"> • Ausstieg aus der Braunkohleverstromung • Ausstieg aus der Nutzung von Rohöl als Basiskohlenstoff • Ausbau des Recyclings, inkl. chemischen Recyclings zur Sicherung der Rohstoffbasis • Effizienterer Einsatz von Düngemitteln in der Landwirtschaft • Alternative Logistikkonzepte ohne fossilen Diesel • Höherer Einsatz von Sekundäraluminium (begrenzt) • Carbon Dioxid Removal (CDR)

Es zeigt sich, dass sich die Strategien in den einzelnen Scopes teilweise überschneiden. Der Ausbau alternativer Erzeugungskapazitäten für Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien ist sowohl für Scope 1 als auch für Scope 2 von zentraler Bedeutung. Ähnliches gilt für alternative Logistikkonzepte ohne fossilen Diesel, die in Scope 1 und Scope 3 eine wichtige Rolle spielen.

Es ist außerdem zu beachten, dass sich einige dieser Strategiebausteine aufgrund politischer Vorgaben bereits in der Umsetzung bei Unternehmen befinden. Dazu zählt insbesondere die Entwicklung von Alternativen auf Basis erneuerbarer Energien für Strom und Wärme, die bereits auf verschiedenen politischen Ebenen und in den Strategien der Einzelunternehmen eine wesentliche Rolle spielen, sowie die Transformation zur Klimaneutralität in der Mobilität. Eine Fokussierung einer Kohlenstoff-Roadmap auf diese Themen würde daher nur einen begrenzten Mehrwert bringen, da sie bereits intensiv diskutiert werden. Stattdessen ist es aus der Sicht der Kohlenstoffwirtschaft sinnvoll, sich auf die Bereiche zu konzentrieren, die für das Mitteldeutsche Revier spezifisch sind, die aber in den bestehenden Strategien bisher nur unzureichend berücksichtigt wurden.

Das gilt auch für das Themenfeld der Bioökonomie. Laut Definition der Kohlenstoffwirtschaft im Teilbericht II ist die Bioökonomie ein Bestandteil der Kohlenstoffwirtschaft. Ein Blick in das Mitteldeutsche Revier zeigt aber schnell, dass es bereits umfangreiche Strategien, Aktivitäten und Unternehmen gibt, die das Themenfeld Bioökonomie in enger Abstimmung entwickeln. Damit ist es aus Sicht einer Roadmap zur Kohlenstoffwirtschaft nicht notwendig, dort neue Impulse zu setzen, sondern eher die Schnittstellen zu benennen und Synergien und Verknüpfungen zu erkennen und zu fördern.

Bei der Formulierung der Strategien galten folgende Grundüberlegungen: Ziel ist es, die Unternehmen im Mitteldeutschen Revier zu erhalten und ihnen die Transformation zur Klimaneutralität zu ermöglichen. Unternehmen können nur klimaneutral produzieren, wenn ihre grünen Produkte in einem Markt zu Preisen abgenommen werden, der ihnen Gewinne und Investitionen in die Transformation ermöglichen. Damit das erreicht werden kann, braucht es politische Eingriffe und gesellschaftliche Veränderungsprozesse. Beispiele für politische Instrumente sind die Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) oder die Carbon Contracts for Difference (CCfD) der EU. Diese Instrumente sind allerdings noch nicht ausreichend für die Herausforderungen der Unternehmen im Mitteldeutschen Revier.

Für die Unternehmen im Mitteldeutschen Revier müssen darüber hinaus in dem Übergang zur Klimaneutralität bis 2045 zusätzlich Zwischenlösungen und schrittweise Weiterentwicklungen ermöglicht werden, gerade für die im Stoffverbund agierenden Unternehmen des mitteldeutschen Chemiedreiecks. Komplexe Systeme wie diese können nicht kurzfristig vollständig umgestellt werden, verschiedene Zwischenschritte sollten aufeinander aufbauen und idealerweise die nächsten Zwischenschritte mitfinanzieren. Die hier beschriebenen Strategien sollen dabei helfen.

Unterschieden wird zwischen übergeordneten Strategien, die einen Rahmen für die Weiterentwicklung und Transformation für das Mitteldeutsche Revier bilden, und Strategiebausteinen, die in diesem Rahmen eine eigene Akteurszusammensetzung und Herausforderungsebene bilden. Als übergeordnete Strategien wurden die Evolutionäre Weiterentwicklung des Stoffverbundes im Mitteldeutschen Revier, die Transformation für KMU und Mittelstand sowie die gesellschaftliche Einbindung der Industrietransformation identifiziert. Die Strategien und Strategiebausteine überschneiden sich hinsichtlich zentraler Merkmale. So ist beispielsweise der Aufbau einer CO₂-Infrastruktur die Voraussetzung für die CO₂-Abscheidung in großem Maßstab für die Zementindustrie, aber auch ein möglicher Pfad für klimaneutrale Düngemittelproduktion oder die Erzeugung von Zertifikaten durch Carbon Dioxid Removal (CDR). Trotz dieser Verknüpfungen gibt es in diesen unterschiedlichen Bereichen unterschiedliche Herausforderungen, Akteure und alternative Optionen, die eine eigene Strategieentwicklung nötig machen. Diese Verknüpfung zeigt die Notwendigkeit einer revierübergreifenden Strategie zur Transformation in die klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft. Die einzelnen Strategien und Strategiebausteine werden im nachfolgenden Kapitel erläutert und beschrieben.

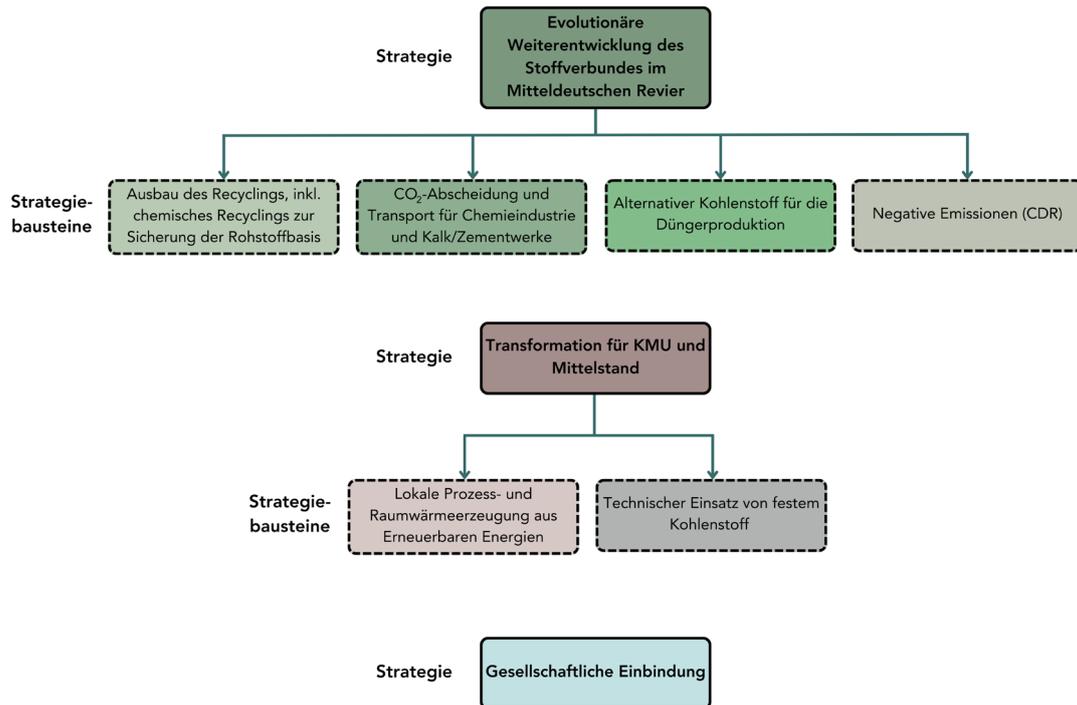


Abb. 9.4: Strategien und Strategiebausteine für eine Transformation zu klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier

9.4.3 Strategien auf dem Weg zu einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft

Strategien und Strategiebausteine auf dem Weg in eine klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft müssen in zentralen Bereichen so beschrieben werden, dass sie die für eine Umsetzung notwendige Detailtiefe haben. Aufgrund der Vielzahl der notwendigen Strategien wird diese Beschreibung so strukturiert, dass sie mit den betroffenen Akteuren gemeinsam weiter ausformuliert werden kann, ohne zu viele Einzelheiten vorwegzunehmen. Zentrale Inhalte der Strategiebeschreibungen sind:

ZIEL

Strategien benötigen klare Ziele, um den Weg vom aktuellen Zustand hin zum gewünschten Zielzustand aufzuzeigen. Diese Ziele können je nach Thema stark variieren, dienen jedoch stets als strukturelles Rückgrat der Strategie.

HINTERGRUND

Herleitung und Beschreibung der Gründe für die Strategie.

VORAUSSETZUNGEN

Strategien zur Erreichung von Klimaneutralitätszielen können nur umgesetzt werden, wenn bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind, die oft außerhalb des Einflussbereichs der Strategie liegen. Die Transformation von Industriebereichen erfordert veränderte Rahmenbedingungen im politischen Mehrebenensystem, wie etwa noch ausstehende europäische oder nationale Gesetzgebungsprozesse oder den Aufbau länderübergreifender Infrastrukturen. Unternehmen sind auf diese Rahmenbedingungen angewiesen, um ihre angepassten Wertschöpfungsmodelle erfolgreich umsetzen zu

können. Gleichzeitig sind solche Rahmenbedingungen ohne die aktive Umsetzung durch Akteure wenig effektiv. Eine klare Trennung zwischen Voraussetzungen, die außerhalb der Einflussmöglichkeiten einzelner Unternehmen liegen, und den eigenen Handlungsoptionen ermöglicht es, sich gezielt auf die umsetzbaren Maßnahmen zu konzentrieren.

MEILENSTEINE

Hierbei handelt es sich um zeitlich abgrenzbare Maßnahmen und Prozesse, die wichtige Arbeiten auf dem Weg zur Klimaneutralität in der entsprechenden Strategie beschreiben. Sie sind zur Orientierung der zeitlichen und inhaltlichen Reihenfolge von Prozessen zu lesen. Die zeitliche Einordnung basiert auf der Einschätzung, bis wann welche Maßnahmen und Prozesse aufgrund der aus Szenarien ableitbaren Zeiträume in Angriff genommen und abgeschlossen werden sollten. Es handelt sich um eine strukturierte Einschätzung, die bei der Erstellung einer detaillierten Strategie im Revier verfeinert und konkretisiert werden muss.

AKTEURE

Zu jeder Strategie gehört eine Liste von Akteuren, die von der Strategie betroffen oder zur Umsetzung notwendig sind. Wo konkrete Unternehmen identifiziert wurden, werden diese beispielhaft genannt, ansonsten werden Branchen und Organisationen genannt, die an der weiteren Strategieentwicklung beteiligt werden sollten.

Strategie 1: Evolutionäre Weiterentwicklung des Stoffverbundes im Mitteldeutschen Revier

ZIEL

Weiterentwicklung/Transformation der Verbundstandorte hin zu einer kohlenstoffneutralen Kreislaufwirtschaft bei gleichzeitigem Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit und der Finanzierungskraft der Unternehmen sowie dem Erhalt des Mitteldeutschen Reviers als attraktiven Wohn-, Arbeits- und Freizeit-Ort. Formel: Leben = Wohnen + Arbeit + Freizeit

HINTERGRUND

Die Chemie- und Industriestandorte in Mitteldeutschland funktionieren heute wie standortübergreifende Ökosysteme. Die für den Import/Austausch von Rohstoffen, Vorprodukten, Produkten; Dienstleistungen und die für die Energieversorgung notwendige Infrastruktur sind über einen Zeitraum von mehr als 100 Jahren gewachsen und damit einem stetigen evolutionärem Prozess (Neue Technologien, Entwicklung der Märkte) ausgesetzt. Parallel entwickelte sich eine angepasste Bildungs- und Forschungslandschaft sowie der Lebensort Mitteldeutschland.

Ähnlich wie in natürlichen Ökosystemen sind die Zusammenhänge/Abhängigkeiten von komplexer Natur und die Resilienz des Systems wird im Wesentlichen durch die stetige Veränderung/ Evolution unter den gegebenen Umweltbedingungen (Markt/technologische Entwicklung/Gesellschaft) sichergestellt.

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Transformation hin zu einer kohlenstoffneutralen Kreislaufwirtschaft bestenfalls nicht anhand disruptiver Veränderungen (Kahlschlag, ersatzloses Herausbrechen einzelner Akteure) erfolgt, sondern als gesteuerte Weiterentwicklung unter Nutzung der dem System innewohnenden Veränderungsbereitschaft und den stabilisierenden Eigenschaften der jeweiligen Akteure des Ökosystems. Wesentlich ist, dass die Transformation für die systemrelevanten Akteure finanzierbar ist, d. h. dass auch während der Übergangsphase Geld verdient werden kann und so das Ökosystem als Ganzes weiter funktioniert.

VORAUSSETZUNGEN

Die wechselseitigen Abhängigkeiten der Akteure untereinander sowie ihre Verflechtungen mit dem Weltmarkt sind bekannt. Um eine erfolgreiche Transformation zu ermöglichen, müssen konventionelle Produktionsweisen und kohlenstoffneutrale bzw. nachhaltige Produkte für eine gewisse Zeit parallel existieren und gemeinsam zur Finanzierung der Transformation beitragen.

Die Politik auf EU- und Bundesebene hat eine entscheidende Rolle, indem sie verlässliche Rahmenbedingungen schafft. Dazu gehören gesetzliche Regelungen, Investitionsanreize sowie der Abbau bürokratischer Hürden. Zudem sollten, wo notwendig und möglich, temporär „geschützte Märkte“ als Leitmärkte eingerichtet werden, um das Henne-Ei-Dilemma zu überwinden und nachhaltige Innovationen gezielt zu fördern.

Ein zentraler Bestandteil dieser Transformation ist die Weiterentwicklung der standortübergreifenden Infrastruktur, insbesondere im Bereich der erneuerbaren Energieerzeugung sowie der Wasserstoffversorgung und dem CO₂-Transport. Gleichzeitig müssen Verkehrswege über Straße, Schiene, Häfen und Luftverkehr an die neuen Gegebenheiten angepasst werden.

Darüber hinaus sollten sich Bund, Länder und Kommunen gemeinsam für die Attraktivität Mitteldeutschlands als Lebens- und Wirtschaftsstandort engagieren. Wesentliche Prioritäten sind hierbei die Sicherung von Fachkräften durch gezielte Bildungs-, Ausbildungs- und Weiterbildungsmaßnahmen, die Steigerung der Wohn- und Freizeitqualität, der Ausbau des öffentlichen Personennahverkehrs sowie die Förderung einer nachhaltigen Umweltgestaltung.

MEILENSTEINE

Gemeinsame Roadmap und Strategieentwicklung: Verständigung der zentralen Akteure auf ein gemeinsames Ziel und einen Zeitplan (Roadmap) zur Defossilisierung im Revier, um das Vertrauen untereinander zu stärken und die Investitionssicherheit zu erhöhen. Dazu gehören Strategien bzgl. Energieerzeugung und Energienutzung vor Ort, Infrastruktur (Netze/Logistik), Strategien zur Wärmeplanung. Kreislaufwirtschaft und Bürokratieabbau werden miteinander verschnitten.

Umsetzung der Roadmap mit der Zivilgesellschaft: Die Zivilgesellschaft, die Politik und die Wirtschaft verständigen sich auf den Erhalt und – damit verbunden – die zentralen Schritte zur Transformation des Industrie- und Chemiestandortes Mitteldeutschland entlang einer existierenden Roadmap.

Analyse zentraler Rahmenbedingungen: Dazu gehören eine Kohlenstoffbilanz für Mitteldeutschland, die Erarbeitung einer Stoff-/Produktbilanz der chemischen Industrie auf den Standorten und standortübergreifend sowie die Erarbeitung einer Analyse der Wertschöpfungsketten der heutigen und zukünftigen Kohlenstoffnutzung im Mitteldeutschen Revier.

Ausweitung des Etats für Fort- und Weiterbildung: Der Etat für Bildung/Ausbildung und Weiterbildung von Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen in Bezug auf die Industrietransformation zur Klimaneutralität wird mindestens verdoppelt.

Leuchttürme der kohlenstoffneutralen Stoffverbünde: Neue, kohlenstoffneutrale B-to-B-Stoffverbünde werden etabliert. Einzelne, teils geförderte Pilotprojekte – etwa von UPM, SkeletonTech, Südzucker oder Verbio – dienen als wegweisende Beispiele. Sie bilden nicht nur den Ausgangspunkt für die Entstehung neuer Verbindungen innerhalb der Ökosysteme, sondern tragen auch maßgeblich dazu bei, den Wandel und die Anpassung des gesamten Systems zu beschleunigen.

AKTEURE

- Unternehmen, Standortgesellschaften und Erbringer standortübergreifender Dienstleistungen
- EU, Bund, Land, Kommunen
- Zivilgesellschaftliche Intermediäre wie Forum Rathenau e.V., Energieavantgarde Anhalt e.V., IHK, HWK, Metropolregion Mitteldeutschland, Umweltverbände, Gewerkschaften, Kirchen etc.
- Forschungslandschaft
- Einwohner/Arbeitnehmer

Strategiebaustein Kreislaufwirtschaft auf Kohlenstoffbasis

ZIEL

Aufbau einer Kreislaufstruktur für die Sammlung, Aufbereitung und Nutzung von Kunststoffen im Mitteldeutschen Revier

HINTERGRUND

Als Alternative zur Verwendung von Rohöl in der Kunststoffproduktion bietet sich die Wiederverwendung von bereits eingesetztem Kohlenstoff an. Dies umfasst im Wesentlichen Kunststoffe, die nach ihrem Nutzungsende gesammelt und einer weiteren Verwertung zugeführt werden. Es gibt zahlreiche Ansätze zur Nutzung solcher Kunststoffe, besonders vielversprechend sind der Einsatz von Rezyklaten sowie die Wiedereinbringung in chemische Produktionsprozesse durch chemisches Recycling. Beide Ansätze bieten großes Potential und liegen in einem absehbaren Wachstumsmarkt.

VORAUSSETZUNGEN

Die Bereitschaft der Unternehmen zu einem gemeinsamen Vorgehen ist eine wichtige Voraussetzung für die Etablierung von geschlossenen Wertschöpfungsketten im Mitteldeutschen Revier. Nur durch kooperative Ansätze lassen sich Synergien optimal nutzen und die Herausforderungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette effizient bewältigen. Eine enge Abstimmung zwischen den Akteuren ist die Grundlage, um gemeinsam auf die Ziele einer zirkulären und klimaneutralen Kunststoffwirtschaft hinzuarbeiten. Verbindliche Rahmensetzungen durch Bund und EU schaffen dabei die notwendigen rechtlichen und politischen Voraussetzungen. Sie bieten Orientierung und Planungssicherheit für Unternehmen, die in klimafreundliche Technologien und Prozesse investieren wollen. Gleichzeitig wird durch klare Regelwerke sichergestellt, dass alle Beteiligten in die gleiche Richtung arbeiten und einheitliche Standards erfüllen. Zusätzlich spielt die politische Unterstützung der unterschiedlichen Politikebenen (Kommunen, Land, Bund, EU) eine zentrale Rolle beim Aufbau klimaneutraler Wertschöpfungsketten. Förderprogramme, strategische Partnerschaften und ein klarer politischer Wille sind entscheidend, um den Übergang zu nachhaltigen Praktiken zu beschleunigen. Ein investitionsfreundliches Verwaltungsumfeld ist ebenfalls von großer Bedeutung. Eine effiziente und unkomplizierte Abwicklung von Genehmigungsverfahren sowie die Förderung von Pilotprojekten sind essenziell, um innovative Ansätze rasch in die Praxis umzusetzen und Skaleneffekte zu erzielen.

MEILENSTEINE

Gemeinsame Roadmap zur Etablierung zentraler Wertschöpfungsketten zum Kunststoffrecycling im Revier: Diese Roadmap dient als strategischer Leitfaden, der die Akteure miteinander verknüpft, gemeinsame Projekte erleichtert und eine klare Richtung für die Etablierung nachhaltiger Prozesse vorgibt.

Realisierung einer beispielhaften geschlossenen Wertschöpfungskette im Revier (Leuchtturm): Dieses Leuchtturmprojekt zeigt, wie Recycling, Verarbeitung und die Nutzung von Kunststoffabfällen in einem geschlossenen Kreislauf realisiert werden und welche Akteure dabei erfolgreich miteinander arbeiten können. Es dient als Vorbild für die Region und belegt die Machbarkeit innovativer Konzepte in der Praxis.

Ausweitung des Recyclings, des Einsatzes von Sekundärmaterialien und Vermarktung klimaneutraler Produkte: Ausgehend von dem Leuchtturmprojekt soll die Kreislaufwirtschaft auf Kohlenstoffbasis nach und nach zu der üblichen Wertschöpfung in diesem Bereich im Revier werden.

Vollständiger Übergang von der fossilen zur klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft: Dieser finale Schritt markiert den Erfolg der Transformation und setzt ein starkes Zeichen für Nachhaltigkeit und Innovationskraft im Revier.

AKTEURE

- Raffinerien (DOW, TotalEnergies)
- Kunststoffverarbeiter (z. B. Schüko, Folienwerk Wolfen)
- Nutzer von Kunststoffprodukten (z. B. Krankenhäuser)
- Startups zur Investition in neue Ideen und Innovationen
- Recycling- und Abfallwirtschaft

Strategiebaustein CO₂-Abscheidung und Transport

ZIEL

Errichtung und Nutzung eines CO₂-Netzes zur klimaneutralen Industrieproduktion

HINTERGRUND

Der derzeitige Aufbau einer CO₂-Infrastruktur sowie die dazugehörigen politischen Diskussionen verdeutlichen, dass grundlegende Entscheidungen über den Einsatz und die Gestaltung dieser Technologie und Infrastruktur getroffen werden müssen. Angesichts des geplanten nationalen und europäischen CO₂-Netzes, das auch das Mitteldeutsche Revier anschließen soll, ist eine gemeinsame Betrachtung der strategischen Nutzung – oder auch der Entscheidung gegen deren Nutzung – erforderlich. Besonders betroffen sind dabei die Chemieindustrie, die Kalk- und Zementindustrie sowie eventuell auch andere große Erdgasnachfrager.

VORAUSSETZUNGEN

Ein entscheidender Schritt ist die Verabschiedung der gesetzlichen Grundlagen, die die Errichtung eines CO₂-Netzes und die Nutzung von Carbon Capture and Storage (CCS) überhaupt erst ermöglichen. Klare rechtliche Rahmenbedingungen schaffen Planungssicherheit und stellen sicher, dass der Ausbau dieser Infrastruktur im notwendigen Zeitraum erfolgen kann. Parallel dazu ist es notwendig

zu klären, für welche CO₂-Mengen und Industrien CCS in Deutschland möglich und sinnvoll ist. Wahrscheinlich ist, dass CCS vor allem in denjenigen Sektoren eingesetzt wird, in denen eine vollständige Reduzierung der anfallenden CO₂-Mengen technisch nicht möglich ist, wie beispielsweise in der Zement- oder Stahlproduktion. Ein weiterer zentraler Baustein ist der Aufbau von Lösungen zur Speicherung von CO₂ in geologischen Strukturen. Hierzu müssen geeignete Speicherorte identifiziert und erschlossen werden, die die absehbaren Mengen des abgeschiedenen CO₂ sicher und langfristig aufnehmen können. Schließlich erfordert die Umsetzung eines funktionierenden CO₂-Netzes die Planung und den Bau von CO₂-Leitungen, die Industrieanlagen mit den Speicherstätten verbinden. Diese Infrastruktur ermöglicht den effizienten und sicheren Transport des abgeschiedenen CO₂ und ist ein entscheidender Faktor für die Skalierbarkeit und den Erfolg des gesamten Systems. Neben den technischen und regulatorischen Herausforderungen braucht es auch Instrumente und Verfahren, die eine ausreichende Nachfrage nach klimaneutral erzeugten Produkten sicherstellt, ohne die diese Entwicklungen nicht wirtschaftlich umzusetzen sind. Diese großen infrastrukturellen, finanziellen und regulatorischen Herausforderungen müssen auf Bundes- und EU-Ebene geklärt sein, damit Unternehmen im Mitteldeutschen Revier auf diese Strategien zurückgreifen.

MEILENSTEINE

Initiierung einer Plattform für Unternehmen mit CCS-Bedarf im Mitteldeutschen Revier: Aufbau einer Plattform, die Unternehmen vernetzt, um gemeinsame Strategien für den Einsatz von Carbon Capture and Storage (CCS), auch als Zwischenstufe zu Carbon Capture and Utilization (CCU), zu entwickeln und die Nachfrage nach Leitungskapazitäten bündelt. Diese Plattform dient als Austauschforum, zur Bündelung von Ressourcen und zur Förderung von Synergien zwischen den Akteuren.

Klärung Anschlussbedarfe und Trassenverlauf: Identifikation des Bedarfs für CO₂-Anschlüsse von Industrieanlagen sowie die detaillierte Planung des Trassenverlaufs für CO₂-Leitungen. Dies umfasst die Abstimmung mit Unternehmen, Infrastrukturbetreibern, Behörden und Anwohnern, um eine effiziente und nachhaltige CO₂-Transportlösung zu gewährleisten.

Leitungs- und Anlagenbau: Umsetzung der geplanten Infrastruktur durch den Bau von CO₂-Leitungen und den erforderlichen Anlagen für die Abscheidung, den Transport und die Speicherung von CO₂.

Klimaneutrale Zement – und Chemieindustrie: Einführung von CCS-Technologien in der Zement- und Chemieindustrie, die zu den größten industriellen CO₂-Emittenten zählen. Aufgrund der unterschiedlichen Optionen zur klimaneutralen Gestaltung der Produktionsprozesse wird die Zement- und Kalkindustrie aus heutiger Sicht vor der Chemieindustrie eine CO₂- Infrastruktur aufgebaut haben.

AKTEURE

- thomas zement, Schwenk
- DOW, TotalEnergies
- CO₂-Netzbetreiber
- EDL Anlagenbau
- SKW Piesteritz

Strategiebaustein Alternativer Kohlenstoff als Rohstoffbasis

ZIEL

Umstellung auf biogene oder wiederverwendete Kohlenstoffe als Ausgangsbasis für die organische Chemie

HINTERGRUND

Heute basieren rund 85 % des Rohstoffeinsatzes der organischen Chemie in Deutschland auf fossilen Quellen (VCI 2024). In einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft kann dieser Kohlenstoff entweder aus recycelten Rohstoffen, aus Biomasse oder aus CO₂ über CCU in das System geführt werden (Kloo et al. 2023). Aufgrund der eingesetzten Menge von heute 16,4 Mio t für den stofflichen Einsatz (VCI 2024) werden alle diese Optionen eine Rolle spielen müssen, der Ersatz ist aber mit Aufwand und Kosten verbunden. Dazu zählt beispielsweise die inländische oder importierte Bereitstellung von biogenem Kohlenstoff, der in verschiedenen Sektoren wie Verkehr, Gebäuden und Industrie sowie zur Prozesswärmeerzeugung oder zur Erzeugung negativer Emissionen genutzt werden könnte. Flächenkonkurrenzen oder Auswirkungen auf die Biodiversität sind ebenfalls zu berücksichtigen. Ein wichtiger Aspekt dieser Transformation ist auch die in verschiedenen Prozessschritten notwendige Verfügbarkeit von klimaneutralem Wasserstoff. Je nach Strategie (Erzeugung vor Ort oder Abnahme von importiertem Wasserstoff) sind unterschiedliche Infrastrukturmaßnahmen notwendig und vorstellbar. Diese Infrastrukturmaßnahmen sollten alle Akteure mit einem absehbaren Bedarf an klimaneutralem Wasserstoff mit einbeziehen, um die Infrastruktur effizient zu dimensionieren. Zum Beispiel gehört die SKW Piesteritz heute zu den Großabnehmern von Methan. Sollten SKW in Zukunft ihren für die Produktion benötigten Wasserstoff importieren, hätte das starke Auswirkungen auf die nötigen Infrastrukturen.

Bei der Umstellung und Nutzung alternativer Kohlenstoffe gibt es inhaltlich große Überschneidungen zu Themen der Bioökonomie. Die entsprechenden Akteure sollten daher in diese Überlegungen mit einbezogen werden.

VORAUSSETZUNGEN

Die Verfügbarkeit alternativer Feedstocks zu wettbewerbsfähigen Preisen ist eine der grundsätzlichen Hürden für eine Transformation der Chemieindustrie. Die Bereitstellung von Biomasse, recyceltem Abfall sowie die Produktion und der Import von grünem Naphtha basieren auf einem komplexen Netz aus Wirtschaftsbeziehungen, technologischer Entwicklung und der Umsetzung geeigneter politischer Rahmenbedingungen, die derzeit noch nicht realisiert sind. Gerade werden die politischen Rahmenbedingungen auf Bundes- und EU-Ebene diskutiert und festgelegt. Diese Rahmenbedingungen sind auch zentral zu Etablierung grüner Leitmärkte, die ein Instrument zur Einführung von klimafreundlicher Produktion sein können (Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2022).

MEILENSTEINE

Potentialstudie zu biogenen Quellen und Prozesstechnologien im Mitteldeutschen Revier:

Die Nutzung lokaler biogener Ressourcen als Basis für die organische Chemie kann für die Region sehr vorteilhaft sein. Um das Potential realistisch abzuschätzen, empfiehlt sich eine Studie, die das biogene Kohlenstoffaufkommen analysiert und einen Überblick über mögliche Prozessschritte und -technologien zur Bereitstellung biogener Stoffe sowie deren strukturelle und finanzielle Eignung für die Nutzung in der chemischen Industrie bietet. Diese Studie sollte auf bestehende Studien wie dem Potentialatlas Bioenergie (Agentur für Erneuerbare Energien 2013) aufbauen.

Regionale Grüne Leitmärkte: Um eine Nachfrage nach regional erzeugten grünen Produkten der Chemieindustrie zu schaffen, wird die Schaffung von grünen Leitmärkten untersucht und umgesetzt. Dabei handelt es sich um eine staatlich induzierte Nachfrage nach grünen Produkten (zum Beispiel im Rahmen der Beschaffung der öffentlichen Hand), die Investition in die entsprechenden Prozessschritte und Anlagen ermöglichen kann.

Diskussion und Entscheidung für Importinfrastrukturen: Es gibt Szenarien, die davon ausgehen, dass grünes Naphtha mehr als die Hälfte des Feedstock-Bedarfs in Deutschland decken wird. Auch wenn heute schon eine entsprechende Pipelineverbindung nach Rostock besteht (Scholz et al. 2023), werden in Zukunft Anpassungen an diese Infrastruktur nötig werden. Die Chemieregion sollte sich frühzeitig strategisch auf diese Anpassungen einstellen.

AKTEURE

- Landwirtschaft
- Abfallwirtschaft
- Wasserstoffnetzbetreiber
- andere Wasserstoffnutzer wie DOW/Total Energies
- Anlagenbauer
- Verbio
- UPM Biochemicals
- SKW Piesteritz
- Akteure der Bioökonomie
- Forschung

Strategiebaustein Negative Emissionen

ZIEL

Aufbau von Wertschöpfung im Revier durch Investition in Projekte zur Erzeugung negativer Emissionen (CDR)

HINTERGRUND

Was wäre, wenn wir im Mitteldeutschen Revier zukünftig mindestens soviel CO₂ dauerhaft in der Landschaft, in Produkten und Prozessen binden, wie wir es in der Braunkohlezeit emittiert haben? Als unseren Beitrag zum Klimaschutz und zur Regional- und Landschaftsentwicklung im Anthropozän? Es zeichnet sich bereits heute ab, dass die Erreichung der Klimaneutralitätsziele bis 2045 eine erhebliche Nachfrage nach Zertifikaten für negative Emissionen auslösen wird. Allerdings bleibt derzeit unklar, welche der möglichen Optionen zur Generierung dieser negativen Emissionen tatsächlich zum Einsatz kommen werden. Geht man davon aus, dass unvermeidbare technische Emissionen durch technische CDR-Lösungen (Carbon Dioxide Removal) kompensiert werden, eröffnen sich neue Wertschöpfungsmöglichkeiten für verschiedene Branchen. Anbieter von Negativemissionen könnten Müllverbrennungsanlagen mit Anschluss an das CO₂-Netz, Abscheidungsanlage und Zugriff auf biogenen Hausmüll (SeRo) oder andere biogene Reststoffe sowie Kalk- und Zementwerke mit Anschluss an das CO₂-Netz, Abscheidungsanlage und Zugriff auf biogene Zufeuerung sein. Auch bei der Verwendung von biobasierten Kunststoffen in Gebäuden oder der Einbringung von Biokohle in landwirtschaftliche Flächen sind aus heutiger Sicht eine langfristige Speicherung des Kohlenstoffes und damit Emissionszertifikate vorstellbar.

Technologieanbieter für Komponenten von Direct Air Capture-Anlagen oder die Finanz- und Versicherungswirtschaft könnten davon ebenfalls profitieren.

VORAUSSETZUNGEN

Die Klärung der Rolle und Refinanzierungsmöglichkeiten für negative Emissionen ist ein entscheidender Schritt, um den Einstieg in diese Strategie zu erreichen. Negative Emissionen, etwa durch Technologien wie Direct Air Capture oder die CO₂-Sequestrierung aus biogenen Quellen, können eine wichtige Ergänzung zur Emissionsreduktion darstellen. Es bedarf dafür aber klarer politischer Rahmenbedingungen und wirtschaftlicher Anreize, um Investitionen in solche Technologien zu fördern und ihre langfristige Integration in die Klimastrategien zu gewährleisten. Ein weiterer zentraler Aspekt ist die Einbindung biogen basierten CO₂s in die CCS-Infrastruktur. Biogenes CO₂, das beispielsweise bei der Verarbeitung von Biomasse oder der Vergärung organischer Materialien entsteht, bietet ein enormes Potential, da es durch Sequestrierung langfristig aus dem Kreislauf entfernt werden kann. Die Integration dieser Quellen in ein bestehendes oder geplantes CO₂-Netz ist eine notwendige Voraussetzung, da eine solche Infrastruktur voraussichtlich nicht ausschließlich für die Realisierung negativer Emissionen errichtet würde. Zusätzlich ist die Klärung des Potentials dezentraler CO₂-Quellen ein wichtiger Schritt. Beispiele wie die CO₂-Abscheidung bei der Aufbereitung von Biogas zeigen, dass auch kleinere, verteilte CO₂- und Kohlenstoffquellen einen Beitrag zur Reduktion von Emissionen mit lokaler Wertschöpfung leisten können.

MEILENSTEINE

Klärung der rechtlichen Rahmenbedingungen: Eine klare Gesetzgebung und Regulierung schaffen die notwendigen Grundlagen für die Planung und Umsetzung von Negativemissionstechnologien. Dazu gehört die Festlegung von Standards für die Abscheidung, Speicherung und Nutzung von CO₂ sowie die rechtliche Anerkennung negativer Emissionen im Kontext der Klimaziele.

Klärung der Einbindungen von Negativemissionskonzepten in CCS-Infrastrukturen: Dies umfasst die Integration biogener CO₂-Quellen in bestehende oder geplante CO₂-Netze. Bei aktuellen Planungsverfahren werden die Dimensionierung und Kapazitäten der geplanten Anlagen und Anschlüsse maßgeblich durch die prognostizierte Menge der potenziellen CO₂-Einspeisung aus biogenen Quellen beeinflusst.

Umsetzung in MVA und Kalk-/Zementproduktion: Diese Industrien bieten aufgrund ihrer anfallenden prozessbedingten CO₂-Mengen und ihrer technischen Voraussetzungen ein großes Potential für die Einführung von CDR-Lösungen. Pilotprojekte in diesen Bereichen können als wichtige Vorreiter dienen und die Grundlage für eine breitere Anwendung schaffen.

StartUp-Phase: Es gibt viele verschiedene Optionen zur Realisierung von negativen Emissionen. Schon heute gibt es verschiedene StartUps, die frühzeitig innovative Ansätze entwickeln, um in den Wachstumsmarkt einzusteigen. Aufgrund der vielfältigen Stoff- und Wertschöpfungsmöglichkeiten von Kohlenstoff ist erwartbar, dass sich nach der Klärung der wichtigsten regulatorischen Fragen viele weitere Optionen für StartUps bieten.

AKTEURE

- MVAs
- thomas zement, Schwenk

- Biochar
- EDL Anlagenbau
- TGZ Bitterfeld-Wolfen
- IHK
- Boost Startup Factory

Strategie 2: Transformation für KMU und Mittelstand

Diese Strategie dient zur Verdeutlichung der Zielgruppe der beiden Strategiebausteine, stellt aber keine eigene Strategie mit Meilensteinen dar. Beide Strategiebausteine adressieren Änderungsbedarfe im Zuge der Transformation zur klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft, die aufgrund Ihrer Akteurszusammensetzung (Prozesswärme) oder ihres Spezialisierungsgrades (technische Kohlenstoffe) wenig Überschneidungen mit den Strategien zur Transformation des Stoffverbundes hat. Beide Themen haben auch in der Chemieindustrie ihre Bedeutung, betreffen darüber hinaus aber eine Vielzahl anderer Akteure, die eine deutlich andere Herangehensweise an diese Transformation benötigen. Gerade in der klimaneutralen Prozesswärme kann es aber durchaus zu übergreifenden Strukturen und Projekten kommen.

Strategiebaustein Lokale Prozess- und Raumwärmeerzeugung aus Erneuerbaren Energien

ZIEL

Klimaneutrale Prozesswärmeerzeugung in der Industrie im Mitteldeutschen Revier

HINTERGRUND

Die Prozesswärmeerzeugung ohne fossile Brennstoffe stellt in Unternehmen insbesondere bei hohen Temperaturstufen eine große Herausforderung dar. Es existieren jedoch bereits Technologien und Lösungen, die teilweise erfolgreich in der Praxis umgesetzt wurden. Da diese Umstellungen häufig tiefgreifende Eingriffe in bestehende industrielle Prozesse erfordern und mit erheblichen Investitionen verbunden sind, ist eine gezielte und strategische Betrachtung besonders wichtig. Dies kann sowohl im Rahmen einer umfassenden Carbon-Management-Strategie als auch als Teil einer übergeordneten Industriestrategie für das Mitteldeutsche Revier erfolgen. Gleichzeitig sind sich viele Unternehmen, insbesondere kleine und mittelständische Betriebe, der damit verbundenen Herausforderungen und Chancen noch nicht ausreichend bewusst. Daher bietet es sich an, diese Aspekte verstärkt unter dem Gesichtspunkt der Transformation hin zur Klimaneutralität in der Kohlenstoffwirtschaft zu beleuchten. Für eine erfolgreiche Umsetzung ist es dabei entscheidend, lokale Akteure miteinander zu vernetzen. Wärme- und Kälteinfrastrukturen sind stets lokal verankert und profitieren maßgeblich vom energetischen Austausch zwischen Wärmequellen und -senken.

VORAUSSETZUNGEN

Zentrales Element ist das Wissen über die verschiedenen Optionen zur klimaneutralen Wärme- und Kälteversorgung. Unternehmen und Akteure müssen sich der verfügbaren Technologien und ihrer jeweiligen Potentiale bewusst sein, um fundierte Entscheidungen treffen und effiziente Lösungen umsetzen zu können. Eine differenzierte Betrachtung der Prozesswärmeerzeugungstechnologien nach dem benötigten Temperaturniveau ist dabei entscheidend. Je nach Anwendung und Industrie variieren die Anforderungen erheblich, was maßgeschneiderte Ansätze für niedrige, mittlere und

hohe Temperaturbereiche erfordert. Darüber hinaus ist die Bereitschaft zur Hebung von Effizienzpotentialen ein wesentlicher Faktor. Effizienzsteigerungen bei der Wärme- und Kälteversorgung senken nicht nur den Energiebedarf, sondern tragen auch wesentlich zur Reduzierung von CO₂-Emissionen bei. Ein weiterer Schlüssel liegt in der Koordination zwischen lokalen Wärme- und Kältenachfragern. Durch abgestimmtes Handeln und die gemeinsame Nutzung von Infrastrukturen und Ressourcen können Synergien geschaffen und die Wirtschaftlichkeit klimaneutraler Lösungen verbessert werden. Letztlich hängt der Erfolg der Transformation maßgeblich von der ausreichenden Verfügbarkeit erneuerbarer Energien und grünem Wasserstoff ab. Nur mit einem zuverlässigen Zugang zu diesen Ressourcen können die erforderlichen Technologien flächendeckend eingesetzt und die Klimaziele erreicht werden.

MEILENSTEINE

Identifikation von zentralen Kälte- und Wärmeclustern: Diese Cluster umfassen geografisch oder wirtschaftlich zusammenhängende Gebiete, in denen eine hohe Nachfrage nach Prozesswärme und -kälte besteht. Die genaue Analyse und Kartierung dieser Cluster bilden die Grundlage für gezielte Maßnahmen und eine effiziente Planung.

Zusammenführung lokaler Abstimmungsrunden zwischen den beteiligten Akteuren: Hierbei kommen Industrieunternehmen, Energieversorger, Kommunen und weitere relevante Stakeholder zusammen, um gemeinsam Lösungen zu entwickeln, Synergien zu nutzen und Hindernisse zu überwinden.

Erarbeitung von lokalen Wärmekonzepten: Diese Konzepte berücksichtigen die spezifischen Bedürfnisse der einzelnen Cluster, analysieren Potentiale für Effizienzsteigerungen und zeigen Wege auf, wie die Wärmeversorgung nachhaltig und klimaneutral gestaltet werden kann.

Ausbau und Anpassung von Wärme/Kältenetzen: Diese Netze müssen für den Transport und die Verteilung klimaneutraler Wärme und Kälte optimiert werden, um die Effizienz zu maximieren und den Bedarf der angeschlossenen Verbraucher zu decken.

Pilot-LowEx Konzepte: Diese Niedertemperaturnetze demonstrieren den Einsatz moderner, energieeffizienter Technologien, die mit niedrigen Temperaturdifferenzen arbeiten und somit den Energieverbrauch minimieren.

Ausbau von Wärmeerzeugungskapazitäten auf Basis Erneuerbarer Energien: Dies umfasst die Integration von Solarthermie, PVT, Geothermie, Biomasse und in manchen Fällen auch grünem Wasserstoff als zentrale Quellen für eine nachhaltige und klimaneutrale Prozesswärmeerzeugung.

AKTEURE

- Industrieunternehmen mit Prozesswärme- oder Kältebedarf
- Anlagenbauer- und Betreiber
- Kommunen
- Leitungsnetzbetreiber
- IHK
- Handwerk

Strategiebaustein Technischer Einsatz von festem Kohlenstoff

ZIEL

Ersatz von festen fossilen Kohlenstoffen in Industrieprozessen

HINTERGRUND

Fester Kohlenstoff wird in verschiedenen Industriezweigen eingesetzt, wobei nicht nur der Kohlenstoff selbst, sondern auch seine strukturellen Eigenschaften eine entscheidende Rolle spielen. Dazu gehört zum Beispiel Graphen für Kondensatoren oder Batterien oder Ruß in der Reifenherstellung. Herkömmliche Kohlenstoffträger wie Petrolkoks weisen eine spezifische Struktur und Leitfähigkeit auf, die derzeit mit biobasiertem Kohlenstoff nicht unmittelbar reproduzierbar ist. Die Abkehr von der fossil basierten Petrochemie wird auch die Verfügbarkeit von Petrolkoks einschränken, so dass Ersatzstoffe gesucht werden müssen. Im Mitteldeutschen Revier fehlt aktuell eine umfassende Übersicht darüber, welche Unternehmen in welchen Prozessen welche Qualitäten von festem Kohlenstoff einsetzen. Daher ist eine strategische Analyse der betroffenen Unternehmen sowie eine Betrachtung potenzieller Forschungsziele in diesem Bereich von großer Bedeutung.

VORAUSSETZUNGEN

Ein zentraler Schritt für die klimaneutrale Transformation des Mitteldeutschen Reviers ist die Klärung, welche Unternehmen und Produktionsprozesse festen Kohlenstoff nutzen und welche strukturellen oder stofflichen Anforderungen an diesen Kohlenstoff bestehen. Diese Analyse dient dazu, die relevanten Industrien und Anwendungen zu identifizieren, in denen kohlenstoffbasierte Materialien eine Schlüsselrolle spielen. Ein tiefgreifendes Verständnis der Kohlenstoffflüsse ist essenziell, um gezielt Ansätze für die Dekarbonisierung oder die Umstellung auf alternative, klimafreundliche Rohstoffe zu entwickeln. Parallel dazu ist die Identifikation passender Forschungsschwerpunkte im Revier wichtig, um die Transformation wissenschaftlich zu begleiten und zu fördern oder effizient in geschlossene Kreisläufe integrieren zu können.

MEILENSTEINE

Identifikation der Unternehmen, die feste Kohlenstoffe in Prozessen nutzen: Analyse und Erfassung der Betriebe im Mitteldeutschen Revier, deren Produktionsprozesse auf den Einsatz fester Kohlenstoffe angewiesen sind.

Initiierung eines Forschungsprogramms zur Identifikation und Anwendung von technischem Kohlenstoff: Start eines Forschungsprogramms mit Industrieunternehmen, das die Einsatzmöglichkeiten von technischem Kohlenstoff in industriellen Prozessen untersucht. Der Fokus liegt auf der Entwicklung innovativer Technologien und Materialien, die fossilen Kohlenstoff ersetzen oder effizienter nutzen können.

Leuchtturmprojekt zum Einsatz festen Kohlenstoffs in Unternehmen: Umsetzung eines oder mehrerer Pilotprojekte, bei dem die Nutzung festen Kohlenstoffs in einem exemplarischen Unternehmen untersucht und optimiert wird. Dieses Leuchtturmprojekt soll innovative Ansätze demonstrieren und als Vorbild für andere Unternehmen dienen.

Startup-Phase zur Substitution fossiler fester Kohlenstoffe: Die Bereitstellung nicht-fossiler fester Kohlenstoffe bedarf technischer Innovationen. Aufgrund der vielfältigen Anwendungen eignen sich diese Innovationen für Startups mit technischem Fokus, insbesondere wenn absehbar fossile Kohlenstoffe nicht mehr zur Verfügung stehen oder es Perspektiven für eine fossilfreie Produktion braucht.

PhaseOut/Phaseln von alternativen Kohlenstoffen: Planung und schrittweise Umsetzung des Übergangs des technischen Einsatzes von festen Kohlenstoffen zu klimafreundlichen Alternativen wie biogenen oder recycelten Kohlenstoffquellen. Dieser Prozess umfasst die Erprobung neuer Technologien, die Anpassung von Produktionsprozessen und die Integration nachhaltiger Lösungen in die Wertschöpfungsketten.

AKTEURE

- ZGG Zeitzer Guss GmbH
- SkeletonTech
- UPM
- DOW, TotalEnergies
- Noch zu identifizierende Unternehmen mit technischen Kohlenstoffen in der Wertschöpfungskette
- Universitäten und Hochschulen, Forschungseinrichtungen

Strategie 3: Gesellschaftliche Einbindung

ZIEL

Positive Einbindung der Gesellschaft in die Industrietransformation

HINTERGRUND

Für die Akzeptanz und Einbindung der Bevölkerung und der Akteure vor Ort braucht es eine durchgehende Begleitung der Industrietransformation. Das betrifft auch die Transformation zur klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft. Wichtig sind eigene Daten für das Mitteldeutsche Revier, z. B. wie seine Einwohner*innen den Infrastrukturausbau im Rahmen der Transformation zur Klimaneutralität einschätzen. Aufgrund der unterschiedlichen gesellschaftlichen, geschichtlichen und wirtschaftlichen Hintergründe sind bundesdeutsche oder nordrhein-westfälische Befragungsergebnisse nur bedingt übertragbar. Zusätzlich sollten lokale Akteure wie die organisierte Zivilgesellschaft mit lokalen Umweltgruppen, kirchliche Akteure, lokale Netzbetreiber oder auch die Industrie- und Handelskammern eingebunden werden, da sie eine zentrale Rolle bei der Information und Diskussion von Infrastrukturprojekten spielen können. Zusätzlich sollten die beteiligten Akteure ein ausreichendes Wissen über die technischen und gesellschaftlichen Hintergründe sowie die Notwendigkeiten der Transformation haben. Dadurch können Konflikte zwar nicht vollständig vermieden werden, aber sie lassen sich auf konkrete Punkte eingrenzen, bei denen inhaltlich begründete Differenzen bestehen. Daher ist es im Mitteldeutschen Revier sinnvoll und notwendig, die lokalen Akteure und die Bevölkerung über die Rolle des Infrastrukturausbaus von CO₂-Pipelines für die Klimatransformation und die zukünftige Wertschöpfung der lokalen Unternehmen zu informieren. Neue Technologien und Transformationen bedürfen auch neuer Fähigkeiten der Mitarbeiter*innen in Unternehmen und Verwaltung. Auch wenn es möglicherweise keine neuen Berufsbilder im Rahmen des Infrastrukturaufbaues für CCS geben wird, werden doch die nötigen Kenntnisse und Fähigkeiten für bestehende Berufe erweitert, sodass diese in Ausbildungsprogramme übernommen werden müssen. Eine aktive Herangehensweise an diese Herausforderungen im Mitteldeutschen Revier zeigt vor Ort, dass diese Entwicklung Beschäftigungsperspektiven beinhaltet und Gegenstand von Qualifikationsprogrammen sein kann. Damit wird deutlich gemacht, dass die Menschen im Revier aktiv an der Transformation teilnehmen können.

VORAUSSETZUNGEN

Ein gemeinsames Verständnis der Ziele und Strategien ist essenziell, um die Transformation hin zu einer klimaneutralen Industrie erfolgreich zu gestalten. Dieses gemeinsame Bild schafft Klarheit über die Prioritäten, die notwendigen Maßnahmen und die Rollen der beteiligten Akteure. Es dient als Grundlage für eine koordinierte Zusammenarbeit zwischen Industrie, Politik, Wissenschaft und Gesellschaft, um eine nachhaltige und wettbewerbsfähige Zukunft zu sichern. Darüber hinaus ist die Untersuchung der Fort- und Weiterbildungsbedarfe ein zentraler Bestandteil der Transformation. Der Übergang zu klimaneutralen Prozessen und Technologien erfordert neue Kompetenzen und Qualifikationen in der Belegschaft. Eine gezielte Analyse dieser Bedarfe ermöglicht es, passgenaue Bildungsangebote zu entwickeln, die Beschäftigte auf die Anforderungen der Industrie von morgen vorbereiten. Zusätzlich fördert die aktive Beschäftigung mit den Chancen der Industrietransformation durch Weiterqualifizierung im Beruf das Wissen und die Akzeptanz für diesen Prozess.

MEILENSTEINE

Untersuchung zur Einstellung der Bevölkerung: Analyse der Wahrnehmung und Akzeptanz der Bevölkerung gegenüber der industriellen Transformation. Ziel ist es, ein besseres Verständnis für die Sorgen, Erwartungen und Unterstützungsbereitschaft der Menschen zu gewinnen, um die Transformation sozialverträglich und partizipativ zu gestalten. Entsprechende Untersuchungen zur grünen Chemie gibt es, sie sind allerdings nicht mehr aktuell (IHK Halle-Dessau 2017).

Kommunikation zu Wissen über Industrietransformation: Entwicklung und Umsetzung einer Kommunikationsstrategie, um die Bevölkerung über die Ziele, Maßnahmen und Vorteile der industriellen Transformation aufzuklären. Dabei sollen transparente Informationen und Dialogformate genutzt werden, um das Vertrauen in den Prozess zu stärken und die Akzeptanz zu fördern.

Aus- und Weiterbildung: Gezielte Förderung von Qualifizierungsmaßnahmen, um Beschäftigte auf die Anforderungen der klimaneutralen Industrie vorzubereiten. Dies umfasst sowohl technische Schulungen als auch Weiterbildungen in Bereichen wie Digitalisierung, nachhaltige Produktion und neue Technologien.

AKTEURE

- Umweltorganisationen
- Gewerkschaften
- Bildungsträger
- Hochschulen
- Netzbetreiber
- IHK
- Stadtwerke
- Unternehmen, die in der Transformation stehen

Alternative Logistikkonzepte ohne fossilen Diesel: Die Herausforderung, Diesel als zentrale Energiequelle in der Logistik zu ersetzen, betrifft Unternehmen entlang verschiedener Scopes und Wertschöpfungsketten und wird bereits in anderen Kontexten und Diskussionen umfassend behandelt. Dennoch sollte dieser Punkt strategisch in den Rahmen einer kohlenstoffbasierten Wirtschaft einbezogen werden.

	2025-2030	2030-2035	2035-2040	2040-2045
Evolutionäre Weiterentwicklung des Stoffverbundes im Mitteldeutschen Revier	<ul style="list-style-type: none"> Gemeinsame Roadmap und Strategieentwicklung der zentralen Akteure zur Defossilisierung im Revier Kohlenstoffbilanz und Produktbilanz für das MDR Analyse der Wertschöpfungsketten 	<ul style="list-style-type: none"> Weitere kohlenstoffneutrale Stoffverbünde 	<ul style="list-style-type: none"> weitere kohlenstoffneutrale Stoffverbünde 	<ul style="list-style-type: none"> weitere kohlenstoffneutrale Stoffverbünde
	<ul style="list-style-type: none"> Umsetzung der Roadmap mit der Zivilgesellschaft Verdoppelung des Einsatz für Aus- und Weiterbildung Realisierung von ersten Leuchttürmen von kohlenstoffneutralen Stoffverbänden 	<ul style="list-style-type: none"> Transformation der verbleibenden fossil basierten Stoffverbände zu klimaneutralen Geschäftsmodellen 		
Ausbau des Recyclings, inkl. chemischen Recyclings zur Sicherung der Rohstoffbasis	<ul style="list-style-type: none"> Gemeinsame Roadmap zur Etablierung zentraler Wertschöpfungsketten zum Kunststoffrecycling im Revier Realisierung einer beispielhaften geschlossenen Wertschöpfungskette im Revier (Leuchtturm) 	<ul style="list-style-type: none"> Auswertung des Recyclings, des Einsatzes von Sekundärmaterialien und Vermarktung klimaneutraler Produkte 	<ul style="list-style-type: none"> Vollständiger Übergang von der fossilen zu der klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft 	
CO₂-Abscheidung und Transport für Chemieindustrie und Kalk/Zementwerke	<ul style="list-style-type: none"> Initiierung einer Plattform für Unternehmen mit CCS-Ambitionen im MDR Klärung Anschlussbedarfe und Trassenverlauf 	<ul style="list-style-type: none"> Leistungs- und Anlagenbau 	<ul style="list-style-type: none"> Klimaneutrale Zementindustrie 	<ul style="list-style-type: none"> Klimaneutrale Chemieindustrie
Alternativer Kohlenstoff für die Düngerproduktion	<ul style="list-style-type: none"> Entscheidung für eine Klimaneutralitätsstrategie (CCS vs. H₂) Integration in Netzausbaupläne (H₂ oder CO₂) 	<ul style="list-style-type: none"> Phasentour Erdgas 	<ul style="list-style-type: none"> Leistungs- und Anlagenbau 	
Negative Emissionen (CDR)	<ul style="list-style-type: none"> Klärung der rechtlichen Rahmenbedingungen Klärung der Einbindungen von Negationsemissionskonzepten in CCS-Infrastrukturen 	<ul style="list-style-type: none"> Umsetzung in MVA und Kalk/Zementproduktion Startup-Phase 		

Abb. 9.5: Roadmap für die Strategie „Evolutionäre Weiterentwicklung des Stoffverbundes“ und die darunterfallenden Strategiebausteine

		2025-2030	2030-2035	2035-2040	2040-2045
Transformation für KMU und Mittelstand	Lokale Prozess- und Raumwärmeerzeugung aus Erneuerbaren Energien	<ul style="list-style-type: none"> Identifikation von zentralen Wärme/Kälteclustern Erarbeitung von lokalen Wärme-konzepten Lokale Abstimmungsunden zwischen den beteiligten Akteuren Ausbau und Anpassung von Wärme/Kältenetzen Pilot-LowEx Konzepte 	<ul style="list-style-type: none"> Ausbau von Wärmeerzeugungskapazitäten und -infrastrukturen auf Basis Erneuerbarer Energien 		
	Technischer Einsatz von festem Kohlenstoff	<ul style="list-style-type: none"> Identifikation der Unternehmen, die feste Kohlenstoffe in Prozessen nutzen Forschungsprogramm zur Identifikation und Substitution von technischem Kohlenstoff Leuchtturmprojekte zum Einsatz / festen Kohlenstoffs in Unternehmen 	<ul style="list-style-type: none"> PhaseOut/Phasen von alternativen Kohlenstoffen 		
Gesellschaftliche Einbindung		<ul style="list-style-type: none"> Untersuchung zur Einstellung der Bevölkerung 	<ul style="list-style-type: none"> Aus- und Weiterbildung von Mitarbeiter:innen Kommunikation zu Wissen über Industrietransformation 		

Abb. 9.6: Roadmap für die Strategien Transformation für KMU und Mittelstand und deren Strategiebausteine sowie für die Strategie „Gesellschaftliche Einbindung“

9.4.4 Roadmap für die nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier

Die in den vorangegangenen Kapiteln skizzierten Maßnahmen der einzelnen Strategien und Strategiebausteine werden hier auf einer Zeitachse dargestellt (Abb. 9.5 und Abbildung 9.6). Für die einzelnen Maßnahmen wird eine Reihenfolge innerhalb der Strategie und des Strategiebausteins auf dem Zeitstrahl dargestellt. Die angegebenen Zeiträume zur Durchführung der Strategien basieren auf den Strategiebeschreibungen, auf den aus den Teilberichten ableitbaren zeitlichen Erwartungen z. B. für einen Infrastrukturaufbau und auf eigenen Einschätzungen, wann welche Schritte zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2045 gegangen werden müssten. Sie sind nicht als Festlegungen zu werten, sondern als Vorschläge für eine schrittweise Umsetzung der Transformation. Idealerweise dienen diese Maßnahmen als Grundlage einer Strategieentwicklung in den einzelnen Strategiebereichen und werden von den in den Strategiebeschreibungen genannten Akteuren gemeinsam diskutiert und angepasst.

9.5 Zusammenfassung und Fazit

Die Transformation zur klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft betrifft unterschiedliche Branchen und Unternehmen im Mitteldeutschen Revier. Kohlenstoff wird dort in sehr unterschiedlichen Prozessschritten und Wertschöpfungsketten eingesetzt. Heute wird der Kohlenstoff vorwiegend aus fossilen Rohstoffen gewonnen oder die fossilen Rohstoffe werden zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt. Die in den Teilberichten dargestellte Bandbreite der Diskussionen und Herausforderungen zeigt, dass es heute schon umfangreiche Politiken und vielfältige Unternehmensstrategien für eine klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft gibt. Es wird aber auch deutlich, dass diese Strategien noch keinesfalls umfassend ausformuliert sind, und dass Unternehmen verschiedene Optionen zur Klimaneutralität gegeneinander abwägen müssen. Dies geschieht heute, ohne dass die Unternehmen und weitere Akteure bereits die notwendige Planungssicherheit, gesetzliche Rahmenbedingungen oder eine ausreichend hohe Nachfrage nach grünen Produkten zu kostendeckenden Preisen vorfinden. In dieser Phase unsicherer Rahmenbedingungen sind Synergien ein Erfolgsfaktor. Diese sind möglich, weil sich die möglichen Transformationsstrategien einzelner Unternehmen und Branchen teilweise überschneiden, auf die gleiche Infrastrukturentwicklung setzen und auch Synergieeffekte in Forschung und Entwicklung vermuten lassen. Daher ist eine gemeinsame strategische Herangehensweise des Mitteldeutschen Reviers mit dem Ziel der klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft ratsam.

Aus den in der Kohlenstoff-Basisstudie dokumentierten Arbeiten lassen sich folgende Thesen für das Mitteldeutsche Revier ableiten:

These 1:

Die klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft wird zahlreiche Wertschöpfungsketten grundlegend verändern. Besonders betroffen sind Branchen und Unternehmen, die Braunkohle, Rohöl und Erdgas als stoffliche Ausgangsmaterialien nutzen oder hohe Temperaturen für Prozesswärme benötigen.

These 2:

Das Mitteldeutsche Revier, insbesondere das mitteldeutsche Chemiedreieck, kann sich zu einem zentralen Treiber der Transformation in die klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft entwickeln. Seine integrierten Stoffverbünde und vernetzten Akteursketten bieten ein großes Potential für klimaneutrale Wertschöpfung.

These 3:

Damit Unternehmen in einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft wirtschaftlich erfolgreich sein können, müssen zahlreiche politische und regulatorische Rahmenbedingungen auf regionaler, nationaler und EU-Ebene geschaffen werden. Auf der Basis von regionalen grünen Leitmärkten kann das Mitteldeutsche Revier bei der Umsetzung eine Vorreiterrolle einnehmen.

These 4:

Das Mitteldeutsche Revier benötigt eine eigene Carbon-Management-Strategie, um die Herausforderungen des Übergangs zur klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft zu gestalten und die regionalen Stärken gezielt zu bündeln. Diese CMS-Strategie sollte in enger Zusammenarbeit von Wirtschaft, Politik und Gesellschaft entwickelt werden. Das Land Sachsen-Anhalt sollte die Federführung übernehmen.



These 5

Unternehmen können nur klimaneutral produzieren, wenn ihre grünen Produkte in einem Markt zu Preisen abgenommen werden, der ihnen Gewinne und Investitionen in die Transformation ermöglichen. Für die Unternehmen im Mitteldeutschen Revier müssen daher im Übergang zur Klimaneutralität bis 2045 zusätzlich Zwischenlösungen und schrittweise Weiterentwicklungen ermöglicht werden, gerade für die zurzeit noch im fossilen Stoffverbund agierenden Unternehmen des mitteldeutschen Chemiedreiecks.

9.6 Literatur

- Agentur für Erneuerbare Energien. (2013). *Potentialatlas Bioenergie*: Teilkapitel Sachsen Anhalt (S. 34). https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/248.AEE_Potenzialatlas_Bioenergie_Sachsen-Anhalt_jan13.pdf
- Bitter-Krahe J, Hoffmann M, Zeiss C. *Perspektiven der Kreislaufwirtschaft im Kontext einer Kohlenstoffwirtschaft*. Wuppertal; 2025.
- Espert V, Pattberg L, Zeiss C. *Übersicht aktuelle politische Prozesse zur Kohlenstoffwirtschaft*. Wuppertal; 2025.
- Espert V, Zeiss C. *Übersicht einer zukunfts-fähigen Kohlenstoffwirtschaft auf Basis eines Klimaneutralitätsszenarios*. Wuppertal; 2025.
- IHK Halle-Dessau. (2017). *Mehr Industrie wagen! Eine Studie der Industrie- und Handels-kammer Halle-Des-sau zur Akzeptanz von Industrieunternehmen*. <https://www.ihk.de/halle/share/flipping-book/3739486/flippingbook.pdf>
- Kloo, Y., Scholz, A., & Theisen, S. (2023). *Wege zu einer Netto-Null-Chemieindustrie – ei-ne Meta-Analyse aktueller Roadmaps und Szenariostudien. Ergebnisse aus dem For-schungsprojekt GreenFeed (No. 2; S. 52)*. Wuppertal Institut. https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/8168/file/8168_GreenFeed_Chemieindustrie.pdf
- Nord/LB. *Die 100 größten Unternehmen in Sachsen-Anhalt* [Internet]. 2021 Dez [zitiert 30. Januar 2025] S. 18. (Regionalwirtschaft Sachsen-Anhalt Report). Verfügbar unter: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.nordlb.de/fileadmin/redaktion/Presse/pdf/2021/Die_100_groessten_Unternehmen_in_Sachsen-Anhalt_2020.pdf&ved=2ahUKEwiW1pK78JyLAXV_-gIHHVoYOeUQFnoE-CAgQAQ&usq=AOvVaw23voiT_xrHmX3L7Lcld2dR
- Scholz A. *Die petrochemische Industrie in Mitteldeutschland. Eine Kurzanalyse der Industriestruktur im mit-teldeutschen Chemiedreieck und ihrer Einbettung in das nordwesteuropäische Produktionssystem*. Wuppertal; 2025.
- Scholz, A., Schneider, C., Saurat, M., & Theisen, S. (2023). *Das petrochemische System in Deutschland und Westeuropa: Regionale Analyse der Polymer-Produktion in Deutsch-land, den Niederlanden und Belgien ; Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „Green Feedstock for a Sustainable Chemistry - Energiewende und Ressourceneffizienz im Kontext der dritten Feedstock-Transformation der chemischen Industrie“* (S. 14667 KB, 83 pages) [Application/pdf]. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. <https://doi.org/10.48506/OPUS-8146>
- SCI4climate.NRW. (2023b). *Treibhausgasneutralität in Deutschland bis 2045 - Ein Szenario aus dem Projekt SCI4climate.NRW*. Wuppertal Institut & Institut der deutschen Wirtschaft. https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publicationen/Ergebnisse_SCI4climate.NRW/Szenarien/2023/treibhausgasneutralitaet-in-deutschland-bis-2045-szenario-cr-sci4climate.nrw.pdf
- VCI. (2024). *Branchenportrait*. Verband der Chemischen Industrie e.V. <https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/branchenportraet-2024-3.pdf>

Weber N, Zeiss C. *Akzeptanzfragen der Kohlenstoffwirtschaft*. Wuppertal; 2025.

Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (2022). *Transformation zu einer klimaneutralen Industrie: Grüne Leitmärkte und Klimaschutzverträge* (Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats, S. 49) [Gutachten]. BMWK. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Ministerium/Veroeffentlichung-Wissenschaftlicher-Beirat/transformation-zu-einer-klimaneutralen-industrie.pdf?__blob=publicationFile&v=8&utm_source=chatgpt.com

World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development. *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard* (Revised Edition) [Internet]. Washington, DC; 2004 S. 116. Verfügbar unter: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf&ved=2ahUKEwibwN388ZyLAXVAgf0HHRWiH94QFnoECAoQAQ&usg=AOvVaw3ZkwVml-IS4GXOqvZFJBpo>

Zeiss, C. (2025a). *Einordnung von Kohlenstoffströmen hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit und deren Auswirkungen auf Wertschöpfungspotentiale*.

Zeiss, C. (2025c). *Zentrale Aspekte einer akteursbasierten Diskussion und Umsetzung einer klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft*

Abkürzungsverzeichnis

AWZ	ausschließliche Wirtschaftszone
BECCS	Bioenergie in Kombination mit CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung (BioEnergy with Carbon Capture and Storage)
BECCU	Bioenergie in Kombination mit CO ₂ -Abscheidung und Nutzung (BioEnergy with Carbon Capture and Utilisation)
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism (politisches Instrument)
CBP	Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse
CCfD	Carbon Contracts for Difference (politisches Instrument)
CCS	Carbon Capture and Storage (CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung)
CCU	Carbon Capture and Utilization (CO ₂ -Abscheidung und Nutzung)
CCUS-Konzepte	Konzepte, in denen grundsätzlich CCS und CCU Anwendung finden können
CCUCH	Carbon Capture and Utilization (CO ₂ -Abscheidung und Nutzung), die in einen Kohlenwasserstoff- und Methanpfad mündet
CCUCH/DACCS	Sprachliche Vereinfachung von CCUch/DACCS
CDR	Carbon Dioxide Removal
CMS	Carbon-Management-Strategie
CRCF-Verordnung	Carbon Removal Certification Framework
DAC	Direct Air Capture von Kohlendioxid
DACCU/S	Direct Air Capture, Utilisation and Storage/Sequestration
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum (Forschungszentren in Leipzig und Leuna)
dena	Deutsches Energie-Agentur
EEG	Erneuerbare Energie-Gesetz
ETS (EU-EHS)	EU Emission Trading System, Europäisches Emissionshandelssystem
EUTL	EU Emission Trading System, Europäisches Emissionshandelssystem
HVC	High-Value Chemicals
iCCS	industrielles CCS
InvKG	Investitionsgesetz Kohleregionen
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (zivildienstliche Organisation)
IRA	Inflation Reduction Act (Bundesgesetz der USA)
KSpG	Kohlendioxid-Speicherungsgesetz (lang: Gesetz zur Demonstration der dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid)
LCA	Life Cycle Assessment (Lebenszyklusanalyse)
LPG	Liquified Petroleum Gas, Flüssiggas
LNe	Langfriststrategie Negativemissionen zum Umgang mit unvermeidbaren Restemissionen
LULUCF	Land Use, Land Use-Change and Forestry
MVA	Müllverbrennungsanlagen
MWIKE	Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes NRW
NaBiS	Nationalen Biomassestrategie

NZIA	Net-Zero Industry Act
NKWS	Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie
NWS	Nationale Wasserstoffstrategie
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
THG	Treibhausgase
SES	Systementwicklungsstrategie
SPRIND	Bundesagentur für Sprunginnovationen (kurz: Sprunginnovationen in Deutschland)
SPRINDFG	SPRIND-Freiheitsgesetz
VDZ	Verein Deutscher Zementwerke e.V.
ZKW	Zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft

Abbildungsverzeichnis

- S. XVI: Abb. 1: Lage der Unternehmen der fossil basierten Industrie mit mehr als 50 Beschäftigten im Mitteldeutschen Revier
- S. XVII: Abb. 2: Lage der Unternehmen der Chemieindustrie im Mitteldeutschen Revier
- S. XXIII: Abb. 3: Übersicht einer zukunftsfähigen Kohlenstoffwirtschaft auf Basis von Klimaneutralitätsszenarien mit Ergänzung aus dem Zukunftslabor Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft von IN4climate.RR aus Espert und Zeiss (2025)
- S. XXV: Abb. 4: Vereinfachte Darstellung einer klimaneutralen Kunststoffproduktion mit biogenem und atmosphärischem Kohlenstoff inkl. CCS-Pfad aus Zeiss (2025a)
- S. XXVI: Abb. 5: Akzeptanz der informierten Öffentlichkeit von industriellen CCS in NRW (nach Witte et al., 2023) aus Weber und Zeiss (2025)
- S. XXVII: Abb. 6: Systematisches Vorgehen zur Ermittlung von Partizipation- und Empowermentbedarfen (Kolde et al., unveröffentlicht) aus Weber und Zeiss (2025)
- S. XXIX: Abb. 7: R-Strategien und ihr Verhältnis zu zirkulären, nachhaltigen Kohlenstoffströmen. Eigene Darstellung nach Bitter-Krahe, Hoffmann und Zeiss (2025)
- S. XXXI: Abb. 8: Überblick über alle relevanten petrochemischen Standorte und Erdölraffinerien in und um Deutschland, inklusive Produktionsvolumen an High-Value-Chemicals und Polymeren sowie infrastruktureller Verflechtungen aus Scholz et al. (2023)
- S. XXXII: Abb. 9: Sankey-Diagramm zur Produktion innerhalb des Mitteldeutschen Chemiedreiecks zur Produktionsvolumina und -Prozessketten basieren auf eigenen Modellergebnissen und sind mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet. Die Ausgangsbasis „Rohstoffe“ ist hier Sammelbegriff für Inputstoffe wie Rohöl, Erdgas, Biomasse, Salze etc. zu verstehen, die sich von dem Feedstock Naphtha abgrenzen. Quelle: Scholz et al. (2023)
- S. XXXIII: Abb. 10: Arbeitsphasen des Zukunftslabors Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft aus Zeiss (2025c)
- S. XXXVI: Abb. 11: Politische Instrumente mit Bezug zur Kohlenstoffwirtschaft aus Espert, Pattberg, Zeiss (2025)
- S. XXXIX: Abb. 12: Roadmap für die Strategie „Evolutionäre Weiterentwicklung des Stoffverbundes“ und die darunterfallenden Strategiebausteine
- S. XL: Abb. 13: Roadmap für die Strategien Transformation für KMU und Mittelstand und deren Strategiebausteine sowie für die Strategie „Gesellschaftliche Einbindung“
- S. XLII: Abb. 14: Struktureller Ablauf der Roadmap-Erstellung

- S. XLIII: Abb. 15: Strategien und Strategiebausteine für eine Transformation zu klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier
- S. 57: Abb. 1.1: Unternehmen der fossilbasierten Industrien mit mehr als 50 Beschäftigten
- S. 59: Abb. 1.2: Lage der Unternehmen des Braunkohlenbergbaus und der Mineralölverarbeitung im Mitteldeutschen Revier
- S. 63: Abb. 1.3: Lage der Unternehmen der Chemieindustrie im Mitteldeutschen Revier
- S. 65: Abb. 1.4: Lage der Unternehmen der Pharmaindustrie im Mitteldeutschen Revier
- S. 67: Abb. 1.5: Lage kunststoffverarbeitenden Industrie im Mitteldeutschen Revier
- S. 68: Abb. 1.6: Lage der Zement- und Baustoffindustrie im Mitteldeutschen Revier
- S. 71: Abb. 1.7: Lage der metallherstellenden und -verarbeitenden Industrie im Mitteldeutschen Revier
- S. 73: Abb. 1.8: Lage der Rückgewinnung (des Recyclings) im Mitteldeutschen Revier
- S. 76: Abb. 1.9: Lage der Unternehmen des Transport-, Logistik- und Lagerei-Gewerbes im Mitteldeutschen Revier
- S. 77: Abb. 1.10: Lage der Ingenieurbüros im Mitteldeutschen Revier
- S. 79: Abb. 1.11: Lage der Forschungszentren im Mitteldeutschen Revier
- S. 81: Abb. 1.12: Lage der TGZs im Mitteldeutschen Revier
- S. 85: Abb. 1.13: Idealtypische Verteilung der Unternehmensgattungen im Ergebnis der Experteninterviews
- S. 90: Abb. 1.14: Lage der Unternehmen der Bioökonomie im Mitteldeutschen Revier
- S. 106: Abb. 2.1: Zeitliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Gesamtsystems (ohne LU-LUCF und ohne Anrechnung von Negativemissionen durch den Import von grünem Naphtha) (SCI4climate.NRW 2023b: 13)
- S. 107: Abb. 2.2 (und Hinweis): Überblick über verbleibende zentrale Kohlenstoffflüsse im klimaneutralen Zielsystem, Jahr 2050 (SCI4climate.NRW 2023b: 16)
- S. 108: Abb. 2.3: Vergleich: Import von Kraftstoffen und Grundstoffen in Kombination mit geologischer Speicherung industrieller CO₂-Mengen („Import/CCS“, links) sowie inländisches CCUCH unter Verwendung von importiertem Wasserstoff in Kombination mit DACCS („CCUCH/DACCS“, rechts) (SCI4climate.NRWb: 96)

- S. 114: Abb. 2.4: Diskussionsthemen im „Zukunftslabor Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft“ des Projekts „IN4climate.RR“ (eigene Darstellung)
- S. 114: Abb. 2.5: Übersicht einer zukünftigen Kohlenstoffwirtschaft auf Basis von Klimaneutralitätsszenarien mit Ergänzung aus dem Zukunftslabor Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft von IN4climate.RR (in Anlehnung an SCI4climate.NRW 2023b: 16)
- S. 125: Abb. 3.1: Vereinfachter Kohlenstoffpfad konventioneller Kunststoff
- S. 126: Abb. 3.2: Vereinfachte klimaneutrale Kunststoffproduktion mit CCS
- S. 126: Abb. 3.3: Vereinfachte Darstellung einer klimaneutralen Kunststoffproduktion mit biogenem und atmosphärischem Kohlenstoff
- S. 127: Abb. 3.4: Vereinfachte Darstellung einer klimaneutralen Kunststoffproduktion mit biogenem und atmosphärischem Kohlenstoff inkl. CCS-Pfad
- S. 128: Abb. 3.5: Pfaddarstellung negativer Emissionserzeugung durch BECCS und Biokohle in Verbindung mit der Herstellung von Kunststoffen
- S. 130: Abb. 3.6: Einfache Struktur zur Prüfung der Klimaneutralität des produktgebundenen Kohlenstoffes
- S. 141: Abb. 4.1: Akzeptanz der informierten Öffentlichkeit von industriellen CCS in NRW 89 (nach Witte et al., 2023)
- S. 141: Abb. 4.2: Gefahrenwahrnehmung von CO₂-Transporten in der informierten Öffentlichkeit 90 (nach Witte et al., 2023)
- S. 142: Abb. 4.3: Vertrauen der informierten Öffentlichkeit in unterschiedliche Akteur*innen (Witte et al., 2023)
- S. 149: Abb. 4.4: Systematisches Vorgehen zur Ermittlung von Partizipations- und Empowermentbedarfen (Kolde et al., unveröffentlicht)
- S. 151: Abb. 4.5: Konstellationsanalyse akzeptanzkritischer Konfliktfelder einer geplanten CO₂-Pipeline (komprimierte Darstellung) (Kolde et al., unveröffentlicht)
- S. 154: Abb. 4.6: CO₂-Bedarf in der chemischen Industrie - Regionale Verteilung ab 2045 (VDZ, 2024)
- S. 155: Abb. 4.7: CO₂-Netzplan von OGE (OGE, o. J.)
- S. 166: Abb. 5.1: Entwicklung des ökonomischen Werts von Kohlenstoffen (eigene Darstellung nach Tcvetkov et al. (2019))
- S. 167: Abb. 5.2: Grafische Gegenüberstellung bestehender Konzepte einer Zirkulären Kohlenstoffwirtschaft (eigene Darstellung nach Centi et al. (2024) und Alsarhan et al. (2021))

- S. 171: Abb. 5.3: R-Strategien und ihr Verhältnis zu zirkulären, nachhaltigen Kohlenstoffströmen (eigene Darstellung)
- S. 173: Abb. 5.4: Strategien und Maßnahmen eines zirkulären Bausektors (eigene Darstellung nach von Braun et al. (2021))
- S. 187: Abb. 6.1 Überblick über alle relevanten petrochemischen Standorte und Erdölraffinerien in und um Deutschland, Quelle: Scholz et al. (2023)
- S. 189: Abb. 6.2 Geographische Verortung des Clusters Mitteldeutsches Chemiedreieck und der zugehörigen Standorte sowie seiner infrastrukturellen Vernetzung und Anbindung an andere Regionen, Quelle: Eigene Darstellung
- S. 192: Abb. 6.3 Produktion relevanter Stoffe in der Polymer-Wertschöpfungskette im Cluster Mitteldeutsches Chemiedreieck für das Jahr 2018, Quelle: Scholz et al. (2023)
- S. 193: Abb. 6.4 Sankey-Diagramm zur Polymerproduktion innerhalb des Mitteldeutschen Chemiedreiecks, Quelle: Scholz et al. (2023)
- S. 204: Abb. 7.1: Übersicht über Formate und wichtige Meilensteine der Diskussion zur Kohlenstoffwirtschaft in NRW
- S. 204: Legende zur Abb. 7.1: Zuordnung der Meilensteine
- S. 206: Abb. 7.2: Regionale Verteilung der für IN4climate.RR relevanten Stakeholderkategorien nach Kreisen
- S. 206: Abb. 7.3: Regionale Verteilung der relevanten Unternehmen aus der internen Stakeholderanalyse
- S. 210: Abb. 7.4: Strategischer Arbeitsablauf des Zukunftslabors Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft vom 08.11.2022
- S. 210: Abb. 7.5: Darstellung eines Kohlenstoffsystems einer klimaneutralen Industrie 2045 in Deutschland aus SCI4climate.NRW 2023, modifiziert nach Ergebnissen der Sitzung des Zukunftslabors
- S. 212: Abb. 7.6: Arbeitsphasen des Zukunftslabors Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft
- S. 214: Abb. 7.7: Struktur des Projektvorschlages Trade4Climate
- S. 215: Abb. 7.8: Baukastenprinzip von Trade4Climate
- S. 224: Abb. 8.1: Politische Instrumente mit Bezug zur Kohlenstoffwirtschaft (Quelle: eigene Darstellung)
- S. 249: Abb. 9.1: Skizze einer Roadmapstruktur



S. 252: Abb. 9.2: Einordnung der 10 größten Unternehmen in Sachsen-Anhalt nach Veränderungsintensität durch die klimaneutrale Kohlenstoffwirtschaft (*Regionalwirtschaft Sachsen-Anhalt Report, 9.12.2021; Wuppertal Institut)

S. 255: Abb. 9.3: Struktureller Ablauf der Roadmap-Erstellung

S. 258: Abb. 9.4: Strategien und Strategiebausteine für eine Transformation zu klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier

S. 272: Abb. 9.5: Roadmap für die Strategie „Evolutionäre Weiterentwicklung des Stoffverbundes“ und die darunterfallenden Strategiebausteine

S. 273: Abb. 9.6: Roadmap für die Strategien Transformation für KMU und Mittelstand und deren Strategiebausteine sowie für die Strategie „Gesellschaftliche Einbindung“

Tabellenverzeichnis

- S. XXXVIII: Tabelle 1: Veränderungsintensität im Rahmen der Transformation zur klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft nach Scopes (aus Zeiss 2025b)
- S. 59: Tabelle 1.1: Unternehmen des Braunkohlenbergbaus und der Mineralölverarbeitung im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022
- S. 62: Tabelle 1.2: Unternehmen der Chemieindustrie im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022
- S. 64: Tabelle 1.3: Unternehmen der Pharmaindustrie im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022
- S. 66: Tabelle 1.4: Unternehmen der kunststoffverarbeitenden Industrie im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022
- S. 68: Tabelle 1.5: Unternehmen der Zement- und Baustoffindustrie im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022
- S. 70: Tabelle 1.6: Unternehmen der metallerzeugenden und -verarbeitenden Industrie sowie des Kesselbaus im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022
- S. 72: Tabelle 1.7: Unternehmen der Rückgewinnung (des Recyclings) im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022
- S. 75: Tabelle 1.8: Unternehmen des Transport-, Logistik- und Lagerei-Gewerbes im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022
- S. 77: Tabelle 1.9: Ingenieurbüros im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022
- S. 78: Tabelle 1.10: Biotechnologie-Unternehmen und Forschungszentren im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022
- S. 80: Tabelle 1.11: Nutzfläche (Büros, Labore, Werkstätten etc.) und Mieter in den TGZs des Mitteldeutschen Reviers, 2025
- S. 82: Tabelle 1.12: Größte industrielle CO₂-Emittenten im Mitteldeutschen Revier gemäß EUTL (in tCO₂), 2022
- S. 89: Tabelle 1.13: Unternehmen der Bioökonomie im Mitteldeutschen Revier nach Beschäftigten und Umsatz (in Mio. Euro), 2022
- S. 112: Tabelle 2.1: Vergleich der Szenario-Varianten „Import/CCS“ (Hauptszenario) und „CCUCH/DACCS“ (Alternativpfad) (In Anlehnung an SCI4climate.NRW 2023b)



- S. 143: Tabelle 4.1: Zentrale Herausforderungen von industriellem CCS in NRW
- S. 151: Tabelle 4.2: Interviewsample PartInKN (Kolde et al., unveröffentlicht)
- S. 201: Tabelle 7.1: Maßnahme „Low-Carbon-Zentrum“ aus dem Klimaschutzplan NRW
- S. 207: Tabelle 7.2: Ergebnisse des Workshops vom 22.06.2022 zur Kreislaufführung von Kohlenstoff
- S. 208: Tabelle 7.3: Ergebnisse des Workshops vom 22.06.2022 zur Rolle und Potential der Biomassenutzung
- S. 208: Tabelle 7.4: Ergebnisse des Workshops vom 22.06.2022 zu zukünftigen Wertschöpfungsketten
- S. 208: Tabelle 7.5: Ergebnisse des Workshops vom 22.06.2022 zur Analyse vielversprechender Technologien
- S. 209: Tabelle 7.6: Ergebnisse des Workshops vom 22.06.2022 zum Matchmaking
- S. 224: Tabelle 8.1: Übersicht von nationalen Langfriststrategien für den Klimaschutz in der Wirtschaft
- S. 235: Tabelle 8.2: Übersicht politischer Instrumente der Industriedekarbonisierung auf EU-Ebene mit Relevanz für die Kohlenstoffwirtschaft (Quelle: Eigene Darstellung nach BMZ (2019); BMWK (2024c), BMWK (2024f); European Union (2024); European Commission (o. J.b; 2012; 2020; 2021a, b, c; 2022; 2023; 2024a, b), Rat der EU & Europäischer Rat (o. J.))
- S. 251: Tabelle 9.1: Zuordnung von Veränderungsintensitäten nach Scopes
- S. 253: Tabelle 9.2: Veränderungsintensität im Rahmen der Transformation zur klimaneutralen Kohlenstoffwirtschaft nach Scopes (nach Zeiss 2025)
- S. 256: Tabelle 9.3: Strategien zur Transformation von Unternehmen im Mitteldeutschen Revier nach Scopes



**Wuppertal
Institut**

Arvid Friebe
Projektmanagement – Interimsmanagement
Betriebsorganisation

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Bibliographische Angaben:

Herausgeber: Forum Rathenau e.V.
Veröffentlicht: Erstveröffentlichung (Version 1.0): 18.03.2025
Überarbeitete Fassung (Version 2.0): 24.06.2025
Autor*innen: Christoph Zeiss, Wuppertal Institut; Arvid Friebe
Dr. Jan Bitter-Krahe, Dr. Valentin Espert, Maximilian Hoffmann, Lea Pattberg,
Alexander Scholz, Nora Weber, Wuppertal Institut
Projektteam: Dr. Kerstin Schmidt, Melanie Bitzer, Madita Flohe, Lilli Isabell Förster,
Helena Tiare Herre, Ludmilla Martens, Thies Schröder
Kontakt: info@forum-rathenau.de
Webseite: www.forum-rathenau.de

Impressum:

Forum Rathenau e.V. (Hrsg.)



Andresenstraße 1A
06766 Bitterfeld-Wolfen
Tel.: 03494/6579210