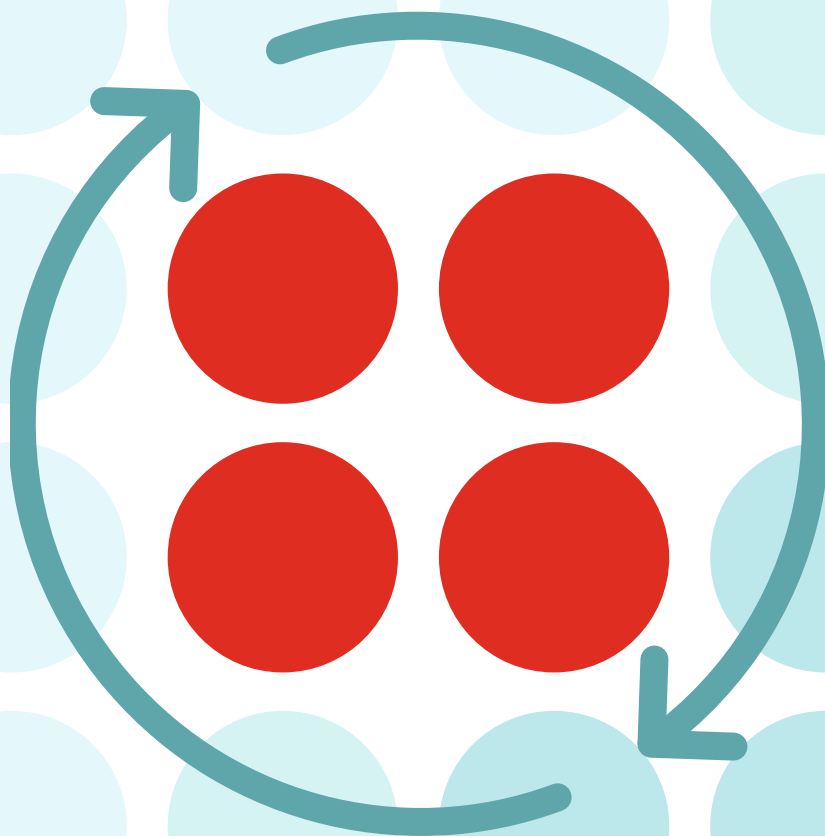


Chemieindustrie in Ostdeutschland – Perspektiven für eine klimaneutrale Zukunft



Zukunft gestalten

Strategien für Infrastruktur und Beschäftigung in
der regionalen und industriellen Transformation

Chemieindustrie in Ostdeutschland – Perspektiven für eine klimaneutrale Zukunft

Im Auftrag der Hans-Böckler-Stiftung

HANS-BÖCKLER-STIFTUNG

**CHEMIEINDUSTRIE IN OSTDEUTSCHLAND
– PERSPEKTIVEN FÜR EINE
KLIMANEUTRALE ZUKUNFT**

LANGFASSUNG

Projektteam Fraunhofer IKTS

Lisa Plümer
Prof. Dr. Thomas Kirschstein
Marianne Wagner-Meige
Patrick Wagner
Dr. Andrea Weiße
Christian Klöppelt

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
Verwendete Abkürzungen	5
1. Executive Summary	7
2. Überblick Ostdeutsche Chemieindustrie	13
3. Aspekte der Transformation in der chemischen Industrie	19
3.1. Politischer Rahmen und Umsetzungsinstrumente	19
3.2. Technologieoptionen für die net-zero Transformation	23
4. Standortspezifische Transformationskonzepte	26
4.1. Methodik zur Erstellung der Transformationskonzepte	26
4.2. Chemiapark Leuna	27
4.2.1. Standortgegebenheiten.....	27
4.2.2. Standortperspektiven.....	28
4.3. Werksverbund Böhlen/Schkopau	32
4.3.1. Standortgegebenheiten.....	32
4.3.2. Standortperspektiven.....	33
4.4. Agro-Chemie Park Piesteritz	37
4.4.1. Standortgegebenheiten.....	37
4.4.2. Standortperspektiven.....	38
4.5. Chemiapark Bitterfeld-Wolfen	41
4.5.1. Standortgegebenheiten.....	41
4.5.2. Standortperspektiven.....	41
4.6. Chemiapark Zeitz	44
4.6.1. Standortgegebenheiten.....	44
4.6.2. Standortperspektiven.....	44
5. Fazit	47
Annex	48
Literaturverzeichnis	49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wichtigste Standorte der Chemieindustrie in ostdeutschen Bundesländern; Quelle: Eigene Darstellung.....	7
Abbildung 2: Dringlichkeit und Komplexität der Transformation an den Standorten; Quelle: Eigene Darstellung.....	9
Abbildung 3: Produktionskapazitäten nach Sektoren an ost-/westdeutschen Standorten; Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten von Darueber BV.....	14
Abbildung 4: Anzahl der Betriebe der chemischen Industrie nach Beschäftigtenanzahl; Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten des Statistischen Bundesamts.....	15
Abbildung 5: Umsätze von Betrieben der chemischen Industrie nach Beschäftigtenanzahl, Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten des Statistischen Bundesamts.	16
Abbildung 6: Anteil Chemieindustrie an Beschäftigung und Wertschöpfung nach Bundesländern; Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten des Statistischen Bundesamts	16
Abbildung 7: Anteil der Arbeitsplätze der Chemieparks an Arbeitsplätzen des jeweiligen Landkreises; Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Unternehmensangaben und Daten des Statistischen Bundesamts.....	18
Abbildung 8: Timeline der deutschen Emissionsminderungsziele; Quelle: Eigene Darstellung.....	19
Abbildung 9: Relativer Anteil der THG-Emissionen am gesamten Industriesektor (Scope 1 und 2), Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten des Statistisches Bundesamts.	
Abbildung 10: Politische Instrumente für die Transformation der chemischen Industrie, Quelle: Eigene Darstellung.....	21
Abbildung 12: Energiegewinnung mit CCS am Beispiel einer Müllverbrennungsanlage; Quelle: Eigene Darstellung.....	24
Abbildung 13: Methodik Transformationskonzepte; Quelle: Eigene Darstellung.	26
Abbildung 14: Methanolsynthese aus Wasserstoff und aus Biomasse; Quelle: Eigene Darstellung.....	29
Abbildung 15: Funktionsweise Steamcracker Böhlen; Quelle: Eigene Darstellung.....	33
Abbildung 16: Schematische Funktionsweise eines elektrifizierten Steam Crackers.....	35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Sozialversicherungspflichtige Beschäftigte je Chemiestandort; Datenquelle: In der Tabelle vermerkt	17
Tabelle 2: Steckbrief Chemiepark Leuna; Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Unternehmensangaben.....	27
Tabelle 3: Steckbrief Werksverbund Schkopau/Böhlen, Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Unternehmensangaben.....	32
Tabelle 4: Steckbrief Piesteritz; Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Unternehmensangaben.....	37
Tabelle 5: Steckbrief Bitterfeld-Wolfen; Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Unternehmensangaben.....	41
Tabelle 6: Steckbrief Zeitz; Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Unternehmensangaben.....	44
Tabelle 7: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte im Jahr 2022 nach ausgewählten Landkreisen und Gemeinden; Quelle: Bundesagentur für Arbeit	48

Verwendete Abkürzungen

BIK	Bundesförderung Industrie und Klimaschutz
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BioMEG	Bio-Monoethylenglykol
BioMPG	Bio-Monopropylenglykol
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism
CCfD	Carbon Contracts for Difference
CCS	Carbon Capture and Storage
CCU	Carbon Capture and Utilization
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum
DAC	Direct Air Capture
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EU ETS	Europäischer Emissionshandel
HVC	High-value chemicals
KMU	Klein- und Mittelständische Unternehmen
KSG	Klimaschutzgesetz
KTF	Klima- und Transformationsfonds
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MVA	Müllverbrennungsanlage
nEHS	Nationales Emissionshandelssystem
PV	Photovoltaik
MtA	Methanol-to-Aromatics
MtO	Methanol-to-Olefins
NZIA	Net Zero Industry Act
PPA	Power Purchase Agreement
RED	Renewable Energy Directive

RFNBO Renewable Fuels of Non-Biological Origin

ThG Treibhausgas

VCI Verband der Chemischen Industrie e.V.

1. Executive Summary

Struktur der chemischen Industrie Ostdeutschland

Die ostdeutsche Chemieindustrie ist insbesondere in Leuna, Böhlen, Schkopau, Piesteritz, Bitterfeld-Wolfen und Zeitz vertreten (vgl. Abbildung 1). Aufgrund ihrer tiefen stofflichen, energetischen und wirtschaftlichen Verflechtungen können diese Standorte als ein zusammenhängendes Produktionscluster betrachtet werden. Zu den wichtigsten Erzeugnissen des Clusters gehören sowohl chemische Grundstoffe und Plattformchemikalien wie Ammoniak, Ethylen, Propylen, Methanol, Styrol als auch Endprodukte wie Synthetikgummi, Kunststoffe, Chemiefasern, Düngemittel, Pflanzenschutzmittel, Lacke und Beschichtungen.



Abbildung 1: Wichtigste Standorte der Chemieindustrie in ostdeutschen Bundesländern; Quelle: Eigene Darstellung.

Insgesamt verfügt das ostdeutsche Chemiecluster über 35.200 Mitarbeitenden und eine jährliche Produktionskapazität von etwa 8,7 Millionen Tonnen, was rund 16 % der gesamten deutschen Chemieproduktion ausmacht. Im Gegensatz zu den Chemiestandorten in West-, Nord- und Süddeutschland ist die ostdeutsche Chemieindustrie jedoch vor allem durch kleine und mittelständische Unternehmen geprägt. Große Konzerne sind nur vereinzelt vertreten. Eine Ausnahme bildet der Standort von BASF in Schwarzheide sowie die Standorte von DOW in Böhlen, Schkopau und Leuna. In Ostdeutschland befinden sich keine Stammsitze großer Chemiekonzerne, weshalb zentrale Unternehmensbereiche wie Management, Verwaltung sowie Forschung und Entwicklung nur in vergleichsweise geringem Umfang in der Region vertreten sind. Dies unterscheidet die ostdeutsche Chemieindustrie strukturell deutlich von jener in anderen Teilen des Landes.

Transformationsoptionen

Die Transformation der ostdeutschen Chemieindustrie hin zu einer klimaneutralen Zukunft erfordert eine umfassende Neuausrichtung in drei Bereichen:

1. Die Umstellung der Energieversorgung
2. Die Verwendung nachhaltiger Rohstoffe
3. Die Entwicklung neuer umweltfreundlicher Produkte

Energieversorgung

Eine Möglichkeit, Wärme und Elektrizität klimafreundlich zu erzeugen, sind KWK-Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplung), die mit emissionsfreien Energieträgern wie grünem Wasserstoff betrieben werden. Alternativ ist der Einsatz nachhaltiger kohlenstoffbasierter Brennstoffe wie Biogas, Abfällen oder Holz denkbar (unter Einsatz von CO₂-Abscheidungsanlagen). Außerdem kann die Wärmebereitstellung rein elektrisch erfolgen, beispielsweise mittels Hochtemperatur-Wärmepumpen oder Elektrodenkesseln. Ob erneuerbare Energiequellen, wie Windkraft und Photovoltaik (PV) den gesamten Strombedarf der chemischen Industrie decken können, hängt unter anderem von der Verfügbarkeit geeigneter Flächen ab. Weiterhin wird die Integration von Energiespeichertechnologien, wie Batterien oder Power-to-X-Systemen entscheidend sein, um eine kontinuierliche Energieversorgung sicherzustellen.

Rohstoffe

Für eine tiefgreifende Defossilisierung¹ der chemischen Industrie müssen neben der Umstellung der Energieversorgung auch alternative Ressourcen und Prozesse für die Synthese der chemischen Produkte eingesetzt werden. Drei zentrale Ansätze lassen sich hierbei unterscheiden: Erstens die Nutzung von CO₂-Punktquellen (CCU) oder atmosphärischem Kohlenstoff (DAC). Zweitens die Verwendung von biogenem Kohlenstoff aus nachwachsenden Rohstoffen wie Holz oder landwirtschaftlichen Abfällen. Drittens das Recycling von Kohlenstoff durch mechanische und chemische Prozesse.

Produkte

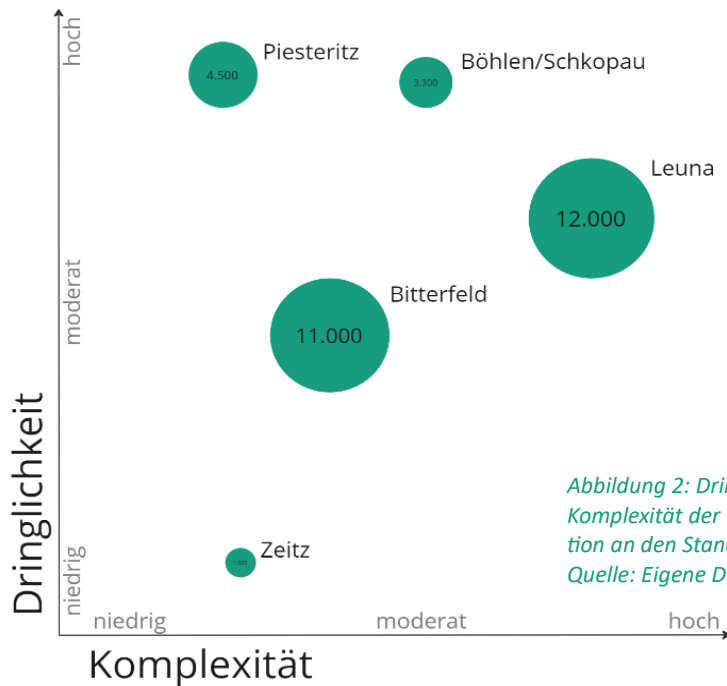
Auf Produktebene können fossil basierte Erzeugnisse durch nachhaltige Substitute mit ähnlichen Eigenschaften ersetzt werden (Drop-in Produkte). Biobasierte Polymere (wie PLA) spielen hierbei eine zentrale Rolle. Darüber hinaus bietet die Erschließung neuer Produktfelder und Märkte, beispielsweise im Bereich der Batterieproduktion, eine weitere strategische Option für die zukünftige Ausrichtung der Chemieindustrie.

Perspektiven der Standorte

Welche der genannten strategischen Transformationspfade für die Chemiestandorte langfristig existenzsichernd sind, hängt u.a. von den lokalen Standortfaktoren ab, die maßgeblich die zukünftigen Produktionskosten und damit die Wettbewerbsfähigkeit der Produktion bestimmen. Weiterhin sind die Transformationsperspektiven der Standorte durch Unterschiede in ihrer Komplexität und Dringlichkeit geprägt (vgl. Abbildung 2, wobei die Größe der Kreise die Anzahl der jeweils betroffenen Mitarbeitenden repräsentiert). Leuna ist mit 12.000 Mitarbeitenden der größte Standort und steht vor erheblichen Herausforderungen. Trotz der Modernisierung des bestehenden KWK-Gaskraftwerks

¹ In dieser Studie wird der Begriff „Defossilisierung“ verwendet, um den gezielten Ausstieg aus der Nutzung fossiler Ressourcen, insbesondere Erdöl und Erdgas, zu beschreiben. Im Kontext der chemischen Industrie ist der Begriff „Dekarbonisierung“ weniger treffend, da Kohlenstoffverbindungen ein zentraler Bestandteil vieler chemischer Erzeugnisse sind. Die Transformation der Branche zielt daher nicht auf die Abkehr vom Kohlenstoff selbst ab, sondern auf die konsequente Vermeidung fossiler Kohlenstoffquellen.

im Jahr 2022 besteht ein erheblicher Druck zur Reduktion der energiebedingten Emissionen. Eine Möglichkeit zur Verringerung der Umweltbelastung bietet die Integration einer CO₂-Abscheidungsanlage. Weiterhin müssen alternative Prozessrouten für die fossil-basierten organischen Grundstoffe gefunden werden. Die Komplexität der Transformation wird durch das vielfältige und interdependente Produkt- und Prozessportfolio des Standorts Leuna erhöht.



Im Verbundstandort Böhlen/Schkopau (3.500 Mitarbeitende) besteht insbesondere in zwei Bereichen ein hoher Transformationsdruck. Einerseits führt die Abschaltung der umliegenden Kohlekraftwerke zu möglichen Engpässen in der Dampf- und Wärmeversorgung, wodurch der Aufbau einer alternativen nachhaltigen Energieversorgung dringend erforderlich ist. Andererseits muss für den Standort Böhlen, dessen Steamcracker die primäre Emissionsquelle des Standorts darstellt, ein Transformationskonzept für die Rohstoffversorgung erstellt werden. Hier muss entschieden werden, ob die naphtha-basierten Produktionsrouten z.B. durch methanol-basierte Alternativen ersetzt werden oder durch eine Umstellung der Energieversorgung und des Feedstocks der Cracker beibehalten werden kann. Die Komplexität der Transformation in Böhlen/Schkopau ist moderat, da primär die Produktion einiger weniger Grundstoffe betroffen ist, während die nachgelagerten Prozessketten weitgehend unverändert bleiben. Die Hauptschwierigkeiten liegen in der Schaffung resilienter Versorgungsprozesse, um die Stabilität der Produktion zu gewährleisten.

Piesteritz (4.500 Mitarbeitende) ist in besonderem Maße von der geopolitischen und preislichen Volatilität der Erdgasversorgung abhängig. Diese Abhängigkeit führte bereits in der Energiekrise 2022/2023 zu einer Stilllegung der Ammoniakproduktion, was die Dringlichkeit der Transformation verdeutlicht. Die Komplexität der anstehenden Veränderungen ist jedoch niedriger als an anderen Standorten, da primär die Frage der

zukünftigen Ammoniakversorgung im Fokus steht. Sollte die lokale Ammoniaksynthese durch Importe ersetzt werden, müssten neue Versorgungsstrukturen insbesondere für CO₂ zur Versorgung der Harnstoffsynthese aufgebaut werden und die Wärmeversorgung angepasst werden (Ammoniaksynthese ist exotherm), was die Komplexität der Transformation moderat erhöht. Dennoch bleiben die Transformationsperspektiven in Piesteritz im Vergleich zu anderen Standorten weniger komplex, da die nachgelagerten Prozesse der Harnstoff- und Düngemittelherstellung weniger betroffen sind.

In Bitterfeld-Wolfen (11.000 Mitarbeitende) liegt der Fokus vor allem auf der Verringerung der energiebedingten THG-Emissionen. Dies könnte entweder durch eine Umstellung der Energieversorgung oder durch die Nachrüstung von CO₂-Abscheideanlagen an der Müllverbrennungsanlage erreicht werden. Während die Dringlichkeit der Transformation hoch ist, bleibt die Komplexität moderat. Neue Chancen ergeben sich durch die Erschließung innovativer Produktfelder wie Wasserstoff, grünem Methanol, Batteriechemie und Recyclingdienstleistungen. Obwohl mit der Veränderung des Produktspektrums Anpassungen etablierter Prozesse notwendig sind, bleibt die Gesamtkomplexität der Transformation überschaubar.

Zeit, der nach Anzahl der Mitarbeitenden kleinste Standort, hat bereits eine vergleichsweise nachhaltige Rohstoffversorgung sowie ein primär biogen-basiertes Produktportfolio, was den Transformationsdruck verringert. Mit einer geringen bis moderaten Komplexität fokussiert sich die zukünftige Entwicklung auf den Ausbau stabiler Versorgungsketten, insbesondere für die Skalierung neuer Prozesse wie die Herstellung von Ethylacetat und Biogas. Durch die Integration neuer Technologien und die Förderung von Forschungspartnerschaften könnte die Innovationskraft des Standorts weiter gesteigert werden. Trotz der geringen Dringlichkeit bietet Zeit somit Möglichkeiten, durch gezielte Maßnahmen in neuen Produktfeldern zu wachsen.

Politische Anknüpfungspunkte zum Gelingen der Transformation der ostdeutschen Chemieindustrie

Für das Gelingen der Transformation der chemischen Industrie in Ostdeutschland lassen sich acht zentrale politische Anknüpfungspunkte ableiten:

1. **Verknüpfung von Energiewende und industrieller Transformation:** Die Schaffung ausreichender Kapazitäten zur Erzeugung erneuerbarer Energien (EE) ist essenziell, um die chemische Industrie mit CO₂-neutralem Strom zu versorgen und die industrielle Transformation voranzutreiben. Viele Chemiestandorte in Ostdeutschland befinden sich im eher ländlichen Raum mit guten Flächenpotentialen für Wind- und Solarenergie (Agora Energiewende 2021). Allerdings fehlt teilweise die breite Akzeptanz auf lokaler Ebene, was die konkrete Umsetzung von Projekten beeinträchtigt, beziehungsweise verzögert (Dena 2023).
2. **Wasserstoff und Wasserstoffderivate:** Wasserstoff sowie seine Derivate (Ammoniak und Methanol) sind Schlüsselemente der industriellen Dekarbonisierung, für die die nötige Infrastruktur zum überregionalen Transport und zur Speicherung geschaffen werden muss. Die großen Chemieparcs Ostdeutschlands befinden sich

an Binnenstandorten, sodass sie über das geplante Wasserstoffkernnetz an mögliche Importhäfen angeschlossen werden müssen. Darüber hinaus bestehen substanzielle Speicherkapazitäten für Wasserstoff in bereits bewirtschafteten Salzkaavernen. Bei ausreichender Verfügbarkeit erneuerbarer Energien bietet sich daher auch der Aufbau von Elektrolysekapazitäten vor Ort an.

3. **Resiliente Versorgungsketten für alternative Kohlenstoffquellen:** Neben Wasserstoff ist Kohlenstoff der wesentliche Baustein der ostdeutschen Chemiestandorte. Der Aufbau robuster Versorgungsketten für nachhaltige Kohlenstoffquellen wie Biomasse, rezykliertem Kohlenstoff, CO₂ aus Umgebungsluft (Direct Air Capture - DAC) und CO₂-Punktquellen ist daher notwendig, um die Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen zu reduzieren. Dies kann z.B. den Aufbau eines CO₂-Pipeline-Netzes umfassen. Im regionalen Umfeld der Standorte befinden sich zudem erhebliche Biomassepotentiale (land- und forstwirtschaftliche Flächen), die potentiell zur Versorgung beitragen können.
4. **Klares regulatorisches Umfeld für CCU und CCS:** Ein eindeutiges und stabiles regulatorisches Umfeld, einschließlich Zertifizierungen und Förderung von Negativemissionen, ist erforderlich, um die Nutzung von CO₂-Abscheidung und -Speicherung (CCU/CCS) erfolgreich zu etablieren und private Investitionen in entsprechende CCU-Pfade zu stimulieren. Für die dauerhaft Einlagerung unvermeidlicher (fossiler und mineralischer) Restemissionen werden CCS-Kapazitäten vor allem in der Nord- und Ostsee geschaffen, sodass die Binnenlage der ostdeutschen Chemieparcs den Aufbau eines CO₂-Piepelinsystems zu den Küstenstandorten erforderlich macht.
5. **Großvolumige Förderung für Investitionen:** Aktuell basiert ein Großteil der Produktionsprozesse und der Energieversorgung in den ostdeutschen Chemieparcs auf fossilen Ressourcen. Dies umfasst die Nutzung von Abwärme aus Kohlekraftwerken, den Verbrauch von Erdgas für die Ammoniakherstellung und in Kraftwerken, sowie die Nutzung von erdölbasierten Ressourcen für die Herstellung organischer Grundstoffe und als Energieträger. Um die notwendigen Emissionsminderungsziele zu erreichen, müssen umfangreiche Investitionen in neue Anlagen getätigt werden. Diese sind mit erheblichen Risiken verbunden, da sich der globale Chemiesektor wandelt und die ostdeutsche Chemieindustrie am Weltmarkt agiert. Um unternehmerische Risiken abzusichern, können finanzielle Fördermittel den Übergang zu nachhaltigen Technologien unterstützen und kurzfristig die Wettbewerbsfähigkeit der Produkte auch im internationalen Vergleich erhalten.
6. **F&E-Unterstützung für den Mittelstand:** Die Wirtschaftsstruktur der Chemieindustrie in den neuen Bundesländern ist primär durch klein- und mittelständische Unternehmen geprägt. Für die Pilotierung und Skalierung innovativer Projekte benötigt der Mittelstand gezielte Forschungs- und Entwicklungsunterstützung. Hierzu kann auch die verstärkte Integration wissenschaftlicher Akteure in bestehenden Branchennetzwerke sinnvoll sein.
7. **Taxonomie zur Klassifizierung „grüner“ Produkte:** Die Einführung und der Ausbau einer Taxonomie zur Klassifizierung „grüner“ Zwischen- und Endprodukte

auf europäischer Ebene ist wichtig, um klare Standards und Marktanreize für nachhaltige Produkte zu setzen. Für die chemische Industrie Ostdeutschlands sind dies insbesondere emissionsreduzierte Kunststoffe, Verpackungen und Düngemittel.

8. **Verbesserung der Kreislauf- und Recyclingfähigkeit von Produkten:** Die Steigerung der Kreislauf- und Recyclingfähigkeit von Endprodukten ist eine wesentliche Transformationsstrategie, um ganzheitlich, nachhaltige Wertschöpfungsketten in der chemischen Industrie zu etablieren. Dies umfasst insbesondere die Substitution von (fossilen) Kunststoffen durch mechanisch recycelte Materialien sowie die Herstellung organischer Grundstoffe aus chemischen Recyclingprozessen. Um die Kreislauffähigkeit weiter zu erhöhen, müssen Produkte bereits in der Designphase so konzipiert werden, dass sie leichter zerlegt und wiederverwendet oder recycelt werden können. Dies beinhaltet den Einsatz sortenreiner Materialien, modulare Produktstrukturen und die Minimierung des Einsatzes von problematischen Zusatzstoffen, die das Recycling erschweren.

2. Überblick Ostdeutsche Chemieindustrie

Die Historie der ostdeutschen Chemieindustrie geht bis ins 19. Jahrhundert zurück. So fanden ab 1893 erste Ansiedelungen zur Produktion von Chlor, Wasserstoff und Natronlauge im Raum Bitterfeld statt. Mit dem Ziel, Ammoniak durch das Haber-Bosch-Verfahren herzustellen, wurden 1915 die Stickstoffwerke Piesteritz gegründet. Bereits ein Jahr später wurde eine ähnliche Produktionsanlage in Leuna eröffnet. 1923 begann dort auch die industrielle Herstellung von Methanol, gefolgt von einer deutlichen Expansion der Produktion von synthetischen Kraftstoffen in den 1930er Jahren. Die Standortwahl basierte im beginnenden 20. Jahrhundert vor allem auf der Verfügbarkeit von Rohstoffen, insbesondere Braunkohle und Steinsalzen. Im Laufe der Jahre hat sich die Rohstoffbasis weitgehend von Braunkohle zu Rohöl(derivaten) verschoben.

In der DDR war die Chemieindustrie einer der wichtigsten Industriezweige. Über 300.000 Menschen waren in 15 vertikal integrierten Kombinat und rund 1.000 Produktionsstätten beschäftigt, vor allem im »Chemiedreieck« Bitterfeld-Wolfen-Leuna in Sachsen-Anhalt sowie in Sachsen, Thüringen und Berlin (Busch 2009). Die Kombinate waren auf Massenproduktion ausgerichtet, aber zunehmend technologisch veraltet. Trotz Investitionen konnte die Wettbewerbsfähigkeit nicht dauerhaft verbessert werden (Mesenhöller 2024). Bekannt wurde die chemische Industrie in der DDR auch für die resultierenden Umweltbelastungen (MDR 2021). Nach der Wiedervereinigung übernahm die Treuhandanstalt die Kontrolle über die volkseigenen Betriebe mit dem Ziel, diese zu privatisieren und zu modernisieren (Stiftung Aufarbeitung 2024). Wirtschaftlich attraktive Teile der Kombinate wurden in bestehende Unternehmen und Konzerne integriert, während unrentable Bereiche geschlossen wurden (Busch 2009). Der resultierende Transformationsprozess war für die Regionen und Beschäftigten herausfordernd, da die Chemieindustrie jahrzehntelang die Wirtschaft und das Selbstverständnis der Regionen geprägt hatte. Mit dem Wegbrechen vieler Arbeitsplätze gingen Teile dieser Identität verloren, und zahlreiche Beschäftigte wanderten in andere Bundesländer ab (Struck et al. 1998). Durch die Privatisierung und Modernisierung der ostdeutschen Chemiestandorte in den 1990er Jahren wurden ihre internationale Wettbewerbsfähigkeit durch Investitionen in moderne Anlagen, optimierte Prozessabläufe und verbesserte Rohstoffversorgung deutlich gesteigert.

Die ostdeutschen Chemiestandorte (Leuna, Böhlen, Schkopau, Piesteritz, Bitterfeld-Wolfen und Zeitz) können aufgrund ihres hohen Vernetzungsgrads als ein Cluster der deutschen Chemieindustrie gelten, da substantielle stoffliche und wirtschaftliche Verflechtungen der einzelnen Standorte bestehen. Weitere wichtige Cluster der deutschen Chemieindustrie befinden sich im Ruhr-Gebiet (insbesondere der Chemiepark Marl), im Rhein-Main-Gebiet (insbesondere der BASF Verbundstandort Ludwigshafen und der Industriepark Höchst), an der Nordseeküste sowie im niederbayerischen Raum. In chemischen Produktionsclustern wird in der Regel eine breite Palette an Erzeugnissen hergestellt. Diese sind einerseits Grund- und Zwischenprodukte wie Ammoniak, Ethylen, Propylen, Methanol, Styrol, und Synthetikgummi und andererseits Endprodukte wie Kunststoffe, (Chemie-)Fasern, Reifen, Düngemittel, Pflanzenschutzmittel, Lacke und Beschichtungen.

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten das diverse Produktportfolio der chemischen Industrie zu klassifizieren. Für diese Studie wurde eine Segmentierung in sechs Gruppen gewählt:

- 1. Petrochemie:** Petrochemisch gewonnene organische Basischemikalien, darunter Olefine (Ethylen, Propylen, Buten/ Butylen, Acetylen) und BTX-Aromaten (Benzol, Toluol, Xylol) sowie Methanol
- 2. Stickstoffhaltige Derivate:** Basischemikalie Ammoniak sowie anorganische Ammoniumsalze und organische Zwischenprodukte wie Amide (z.B. DMF) und Amine (z.B. Ethanolamin) sowie Harnstoff
- 3. Chlorhaltige Produkte:** Basischemikalie Chlor sowie verschiedene Chlorderivate, darunter anorganische Verbindungen wie Chlorwasserstoff und organische Intermediäre wie verschiedene Chloralkane/ -alkene oder Epichlorhydrin
- 4. Organische Intermediäre:** Zu einem großen Teil sauerstoffhaltige Carbonylverbindungen, Alkohole, Ether, Oxide etc.; hauptsächlich Rohstoffe für Polymere (z.B. Styrol, Terephthalsäure, Ethylenglykol, Phenol, Aceton usw.)
- 5. Anorganischen Intermediäre:** Anorganische Säuren, Basen und Oxide (z.B. Schwefelsäure, Natriumhydroxid, Aluminiumoxid)
- 6. Polymere:** Synthetisch gewonnen (zumeist aus organischen Intermediären); Basis für Kunststoffe; z.B. Polyethylen, Polypropylen, Polyvinylchlorid, Polyethylenglykol, Polyethylenterephthalat

Vergleicht man die Produktionskapazitäten des ostdeutschen Chemieclusters mit den westdeutschen Chemiestandorten, so sind erhebliche strukturelle Unterschiede erkennbar (vgl. Abbildung 3).²

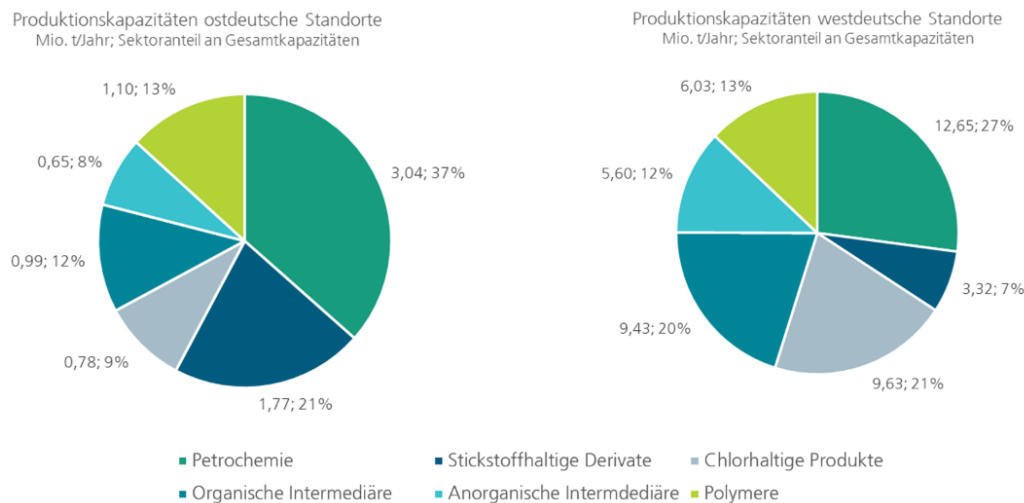


Abbildung 3: Produktionskapazitäten nach Sektoren an ost-/westdeutschen Standorten; Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten von Darueber BV.

² Dabei wurden Daten des niederländischen Anbieters ‚Darueber BV‘ - Projekt ‚chemXplore‘ verwendet. Grundlage bietet die Erfassung von Produktionsanlagen chemischer Produkte in der EU. Dabei wurden bspw. Raffinerien inkludiert, das Vereinigte Königreich dagegen exkludiert. Es wurde nach der jährlichen Produktionskapazität von mehr als 100.000 Tonnen gefiltert. Dies ergab Daten für ca. 250 Anlagen.

Insgesamt verfügen die westdeutschen Standorte mit ca. 47 Millionen Tonnen jährlicher Produktionskapazität über 84 % der gesamten deutschen Kapazität der Chemieproduktion. Auf die ostdeutschen Standorte entfallen ca. 16 %, was einer jährlichen Produktionskapazität von etwa 8,7 Millionen Tonnen entspricht. Mit Blick auf die hergestellten Produkte weist die ostdeutsche Chemieindustrie eine stärkere Fokussierung auf die Petrochemie und die Produktion von stickstoffhaltigen Derivaten und Ammoniak auf. Die Anteile der Polymer-Kapazitäten an den Gesamtkapazitäten sind in beiden Regionen etwa gleich hoch. Chlorhaltige Produkte, organische Intermediäre sowie anorganische Intermediäre haben an den ostdeutschen Standorten geringere Anteile an den Produktionskapazitäten als dies an den westdeutschen Standorten der Fall ist. Der ostdeutsche Chemiecluster hat damit einen Schwerpunkt auf stickstoffhaltige Produkte wie Düngemittel sowie Polymerprodukte und organische Intermediäre.

Perspektivisch stellt die Ausrichtung des Produktportfolios die ostdeutsche Chemieindustrie tendenziell vor größere Herausforderungen als die westdeutsche chemische Industrie. Insbesondere in der Düngemittelproduktion führen geringe Margen und ein hoher Preisdruck zu wirtschaftlichen Belastungen. Dieser Effekt wird durch Produktionsüberschüsse aus Überkapazitäten in anderen Weltregionen, beispielsweise aus China, zusätzlich verschärft. Gleichzeitig ist ein Rückgang der Nachfrage nach Polymeren zu verzeichnen, der auf veränderte Konsumentenpräferenzen und Fortschritte im Recycling zurückzuführen ist. Strukturelle Unterschiede zwischen den ost- und westdeutschen Bundesländern zeigen sich nicht nur im Vergleich der Produktionskapazitäten, sondern auch bei der Unternehmensstruktur. So charakterisiert die chemische Industrie in den ostdeutschen Bundesländern vor allem eine mittelständische Unternehmensstruktur. In Ostdeutschland gibt es häufiger kleine und mittlere Betriebe (gemessen an ihrer Beschäftigtenanzahl), als dies in Westdeutschland der Fall ist.

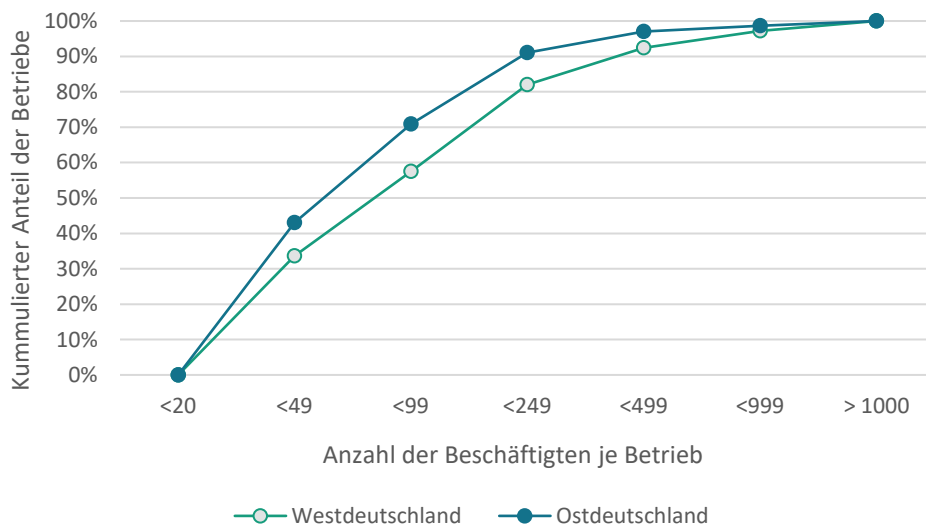


Abbildung 4: Anzahl der Betriebe der chemischen Industrie nach Beschäftigtenanzahl; Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten des Statistischen Bundesamts.

Beispielsweise arbeiten in 43% der insgesamt 302 Chemieunternehmen in ostdeutschen Bundesländern weniger als 49 Personen. In der westdeutschen Chemieindustrie

(insgesamt 1.404 Betriebe) ist dies lediglich in 33% aller Betriebe der Fall (vgl. Abbildung 4).

Ein ähnliches Bild ergibt sich auch bei den Umsätzen. Wie aus Abbildung 5 ersichtlich wird, werden die Umsätze der ostdeutschen Chemieindustrie vermehrt in kleinen Betrieben (gemessen an der Anzahl der Beschäftigten) erwirtschaftet. Im Gegensatz hierzu wird in der westdeutschen Chemie ein höherer Anteil der Umsätze in größeren Betrieben erwirtschaftet. Beispielsweise werden an westdeutschen Standorten 45% des Umsatzes von Betrieben erwirtschaftet, die mindestens 1.000 Mitarbeitende beschäftigen. In ostdeutschen Betrieben sind dies nur 12% der Umsätze. Grund hierfür ist unter anderem, dass es an den ostdeutschen Standorten nur vereinzelt Niederlassungen von Großkonzernen gibt. Eine Ausnahme bildet beispielsweise der Standort von BASF in Schwarzheide sowie die Standorte von DOW in Böhlen, Schkopau und Leuna. Firmenzentralen von Großkonzernen der chemischen Industrie finden sich nicht an ostdeutschen Standorten.

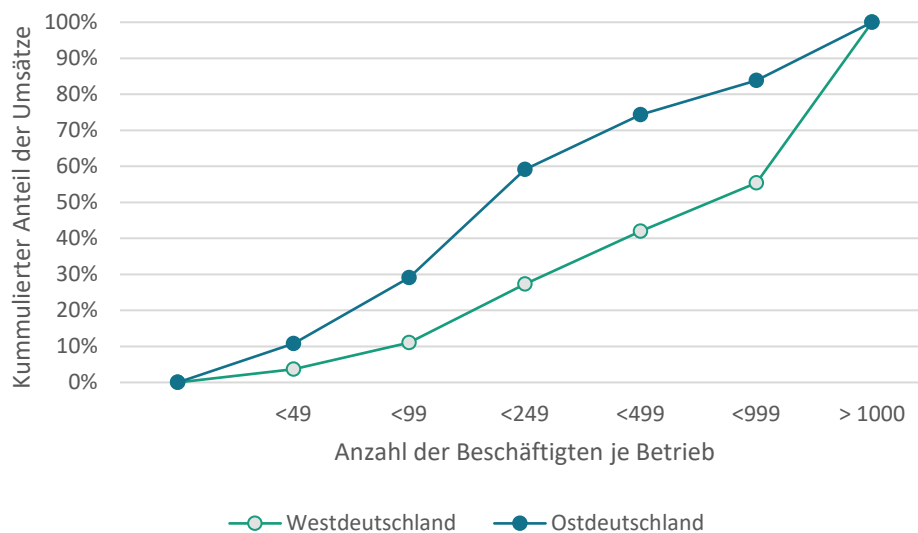


Abbildung 5: Umsätze von Betrieben der chemischen Industrie nach Beschäftigtenanzahl, Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten des Statistischen Bundesamts.

Neben Unterschieden in der Betriebsstruktur von west- und ostdeutschen Chemieunternehmen nimmt die Chemieindustrie auch eine unterschiedliche Bedeutung im Bezug auf makroökonomische Faktoren wie Wirtschaftsleistung und Beschäftigung ein (vgl. Abbildung 6). So ist die Chemieindustrie im Osten Deutschlands, ökonomisch gesehen, geringfügig weniger bedeutsam. Dort erwirtschaftet der Industriezweig ca. 4,5 % der Bruttowertschöpfung (BWS). In den westdeutschen Bundesländern gehen hingegen 6 % der Wertschöpfung auf die Chemieproduktion zurück. Weiterhin sind in ostdeutschen Bundesländern 0,43% aller Beschäftigten in der Chemieindustrie tätig, wohingegen es im Rest Deutschlands ca. 0,85% der Beschäftigten sind. Dies begründet sich u.a. mit einer unterschiedlichen Wirtschaftsstruktur in Ost und West. Weiterhin sind die zentralen Unternehmensbereiche wie Management, Verwaltung sowie Forschung und Entwicklung an den jeweiligen Hauptstandorten der Unternehmen angesiedelt. Bei der Betrachtung der ökonomischen Bedeutung der Chemieindustrie auf Länderebene sind insbesondere Rheinland-Pfalz und Sachsen-Anhalt auffällig. Beide Bundesländer zeigen

für die Chemieindustrie (im Ländervergleich) die höchsten Anteile an Gesamtbeschäftigung und Bruttowertschöpfung pro Kopf.

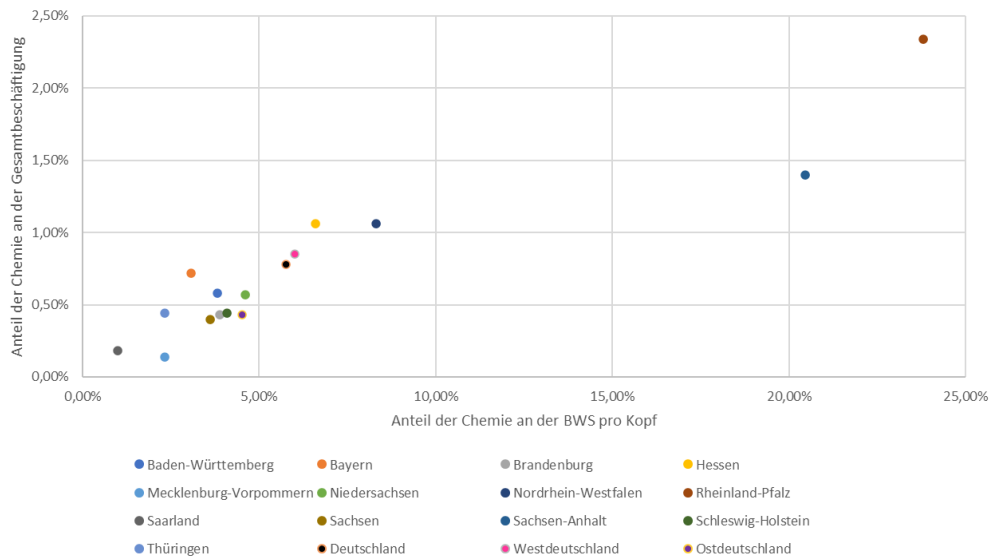


Abbildung 6: Anteil Chemieindustrie an Beschäftigung und Wertschöpfung nach Bundesländern; Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten des Statistischen Bundesamts

In Rheinland-Pfalz ist hierfür insbesondere der Hauptsitz von BASF in Ludwigshafen verantwortlich. In Sachsen-Anhalt sind es primär die großen Standorte in Leuna, Schkopau und Bitterfeld. In beiden Bundesländern stellt die Chemieindustrie den strukturprägenden, gesamtwirtschaftlichen Sektor dar. Substanzielle Wertschöpfungsanteile werden darüber hinaus in Hessen und in Nordrhein-Westfalen von der Chemieindustrie erwirtschaftet.

Um die Beschäftigungswirkung der Chemieindustrie in Ostdeutschland auf Standortebene nachvollziehen zu können, wird in Tabelle 1 die Anzahl der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten pro Chemiestandort³ dargestellt.

Standort	Arbeitsplätze
Leuna	12.000 (InfraLeuna GmbH)
Bitterfeld-Wolfen	11.000 (Chemiepark Bitterfeld-Wolfen GmbH)
Piesteritz	4.500 (SKW-Stickstoffwerke Piesteritz GmbH)
Schwarzheide	4.400 (BASF Schwarzheide GmbH 2023)
Böhlen und Schkopau	3.300 (Dow Olefinverbund GmbH)
Zeitz	1.000 (Infra-Zeitz Servicegesellschaft mbH)

Tabelle 1: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte Personen; Datenquelle: In der Tabelle vermerkt

³ Anzumerken ist, dass die Zahlen aus unterschiedlichen Quellen stammen und das Bezugsjahr nicht immer klar ist.

Dabei zeigt sich, dass die Werke in Leuna (12.000 Mitarbeitende), Bitterfeld-Wolfen (11.000 Mitarbeitende) und Piesteritz (4.500 Mitarbeitende) die meisten Beschäftigten aufweisen. Auch an den Standorten Schwarzheide (4.400 Mitarbeitende) und Böhlen/Schkopau (3.300 Mitarbeitende) sind zahlreiche Personen beschäftigt. Zeitz ist diesbezüglich mit 1.000 Mitarbeitenden der kleinste betrachtete Standort.

In Abbildung 7 wurden die Arbeitsplatzangaben aus Tabelle 1 in Relation zu den Beschäftigtenzahlen der Landkreise gesetzt (vgl. Tabelle 7 im Annex). Dabei stechen insbesondere die Standorte in Piesteritz, Leuna und Bitterfeld-Wolfen (alle Sachsen-Anhalt) heraus. Im Werk in Piesteritz sind ca. 29 % aller Beschäftigten des Landkreises tätig. In Bitterfeld-Wolfen sind es etwa 19 % und auf die Chemieunternehmen in Leuna entfallen 17 % der Arbeitsplätze des Landkreises. Weiterhin sind die Standorte der Chemieindustrie in Ostdeutschland für entsprechende Kommunen nicht nur hinsichtlich der Beschäftigung, sondern auch in Bezug auf das Steueraufkommen und die induzierten Wertschöpfungseffekte von zentraler Bedeutung.

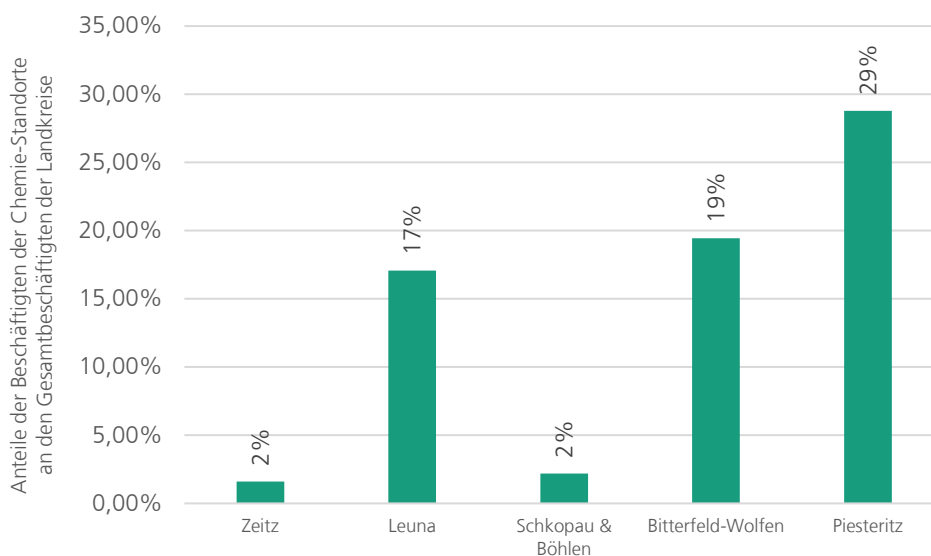


Abbildung 7: Anteil der Arbeitsplätze der Chemieparks an Arbeitsplätzen des jeweiligen Landkreises;
Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Unternehmensangaben und Daten des Statistischen Bundesamts

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Chemiestandorte des ostdeutschen Clusters ein breites Produktportfolio abdecken, und sowohl untereinander als auch mit anderen Industriesektoren hochgradig vernetzt sind. Dabei ist eine Fokussierung auf die Petrochemie sowie auf die Produktion von Ammoniak und Polymeren zu erkennen. Weiterhin ist die Struktur vor Ort stark durch kleine und mittelständische Unternehmen geprägt, vereinzelt sind allerdings auch Großkonzerne vertreten. Innerhalb der ostdeutschen Bundesländer ist die chemische Industrie insbesondere für Sachsen-Anhalt von hoher ökonomischer Bedeutung. Vor allem in den Landkreisen Wittenberg, Anhalt-Bitterfeld und im Saalekreis ist eine starke Konzentration der Beschäftigung in der chemischen Industrie vorhanden.

3. Aspekte der Transformation in der chemischen Industrie

Um ihre Zukunftsfähigkeit zu sichern, steht die Chemieindustrie vor einer tiefgreifenden Transformation. Angesichts ambitionierter Klimaschutzziele in Deutschland und Europa sehen sich Unternehmen vor der Herausforderung, ihre Prozesse und Technologien anzupassen. Da die Nutzung fossiler Rohstoffe tief in fast allen Produktionsprozessen integriert ist, stellt die Defossilisierung der chemischen Industrie eine vielschichtige Aufgabe dar. So erfordert die Umstellung auf klimaneutrale Produktionsverfahren nicht nur Investitionen in innovative Technologien und erneuerbare Energiequellen, sondern auch eine umfassende Neuausrichtung der Unternehmensstrategien.

In diesem Kapitel werden zwei zentrale Aspekte der Transformation der chemischen Industrie beleuchtet: 1) Der politische Wille zur Reduktion der Treibhausgasemissionen, welcher durch gesetzliche Vorgaben und Instrumente implementiert wird; 2) Die technologischen Möglichkeiten zur Verringerung der Emissionen der chemischen Industrie durch die Umstellung der Energie- und Rohstoffbasis.

3.1. Politischer Rahmen und Umsetzungsinstrumente

Dem politischen Ziel der Klimaneutralität hat sich Deutschland 2019 mit der Verabschiedung des Klimaschutzgesetzes (KSG) verpflichtet. Dieses geschah im Einklang mit dem europäischen Klimagesetz (European Climate Law / Regulation (EU) 2021/1119) und dem Pariser Abkommen von 2015. Umgesetzt wurde das KSG 2019 durch den Klimaschutzplan 2050, der für jeden Sektor und jedes Jahr verbindliche Reduktionsziele festlegt. Allerdings wurde das KSG seit seiner erstmaligen Veröffentlichung zwei größeren Revisionen unterzogen (vgl. Abbildung 8).

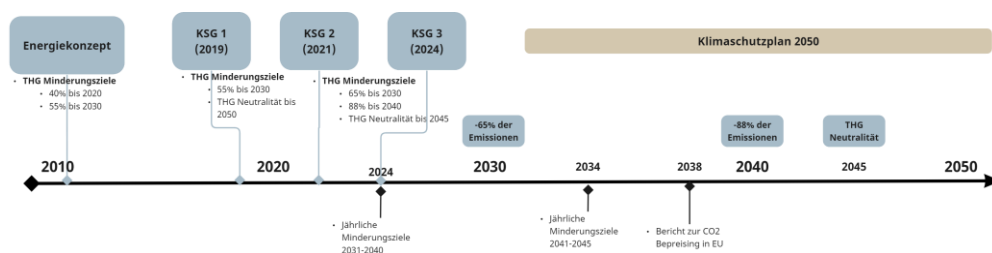


Abbildung 8: Timeline der deutschen Emissionsminderungsziele; Quelle: Eigene Darstellung.

2021 wurde mit der Verabschiedung des KSG2 das Ziel der Klimaneutralität auf 2045 vorverlegt sowie verbindliche Zwischenziele für 2030 (Reduktion um 65%) und 2040 (Reduktion um 88 %) definiert (2021 KSG §3, Bundesministerium der Justiz 2021). Das

KSG2 sah noch fest definierte Reduktionsziele für die einzelnen Sektoren vor.⁴ Dabei ist die chemische Industrie kein eigens definierter Sektor, sondern Teil des im KSG erfassten Industriesektors. Auf diesen entfielen 2019 circa 23% der gesamtdeutschen Emissionen (ca. 187 Mio. t CO₂e) (Umweltbundesamt 2022). Innerhalb des Industriesektors ist die Chemieindustrie wiederum nach der Metallerzeugung und der Herstellung von Zement für die dritthöchsten Emissionen (ca. 15% der Industrieemissionen) verantwortlich.

In der zweiten Revision des KSG (April 2024) wurden die sektorspezifischen Reduktionsziele aufgelöst und durch sektorübergreifende Ziele ersetzt. Dementsprechend werden keine Teilziele für einzelne Industriesektoren wie die chemische Industrie festgesetzt. Stattdessen muss die Verringerung über alle Sektoren dem Reduktionsziel entsprechen. Sollte das Umweltbundesamt zwei Jahre in Folge eine Verfehlung der gesamten Emissionsziele projizieren, müssen sektorale Reduktionsmaßnahmen ergriffen werden (Deutscher Bundestag 2024).

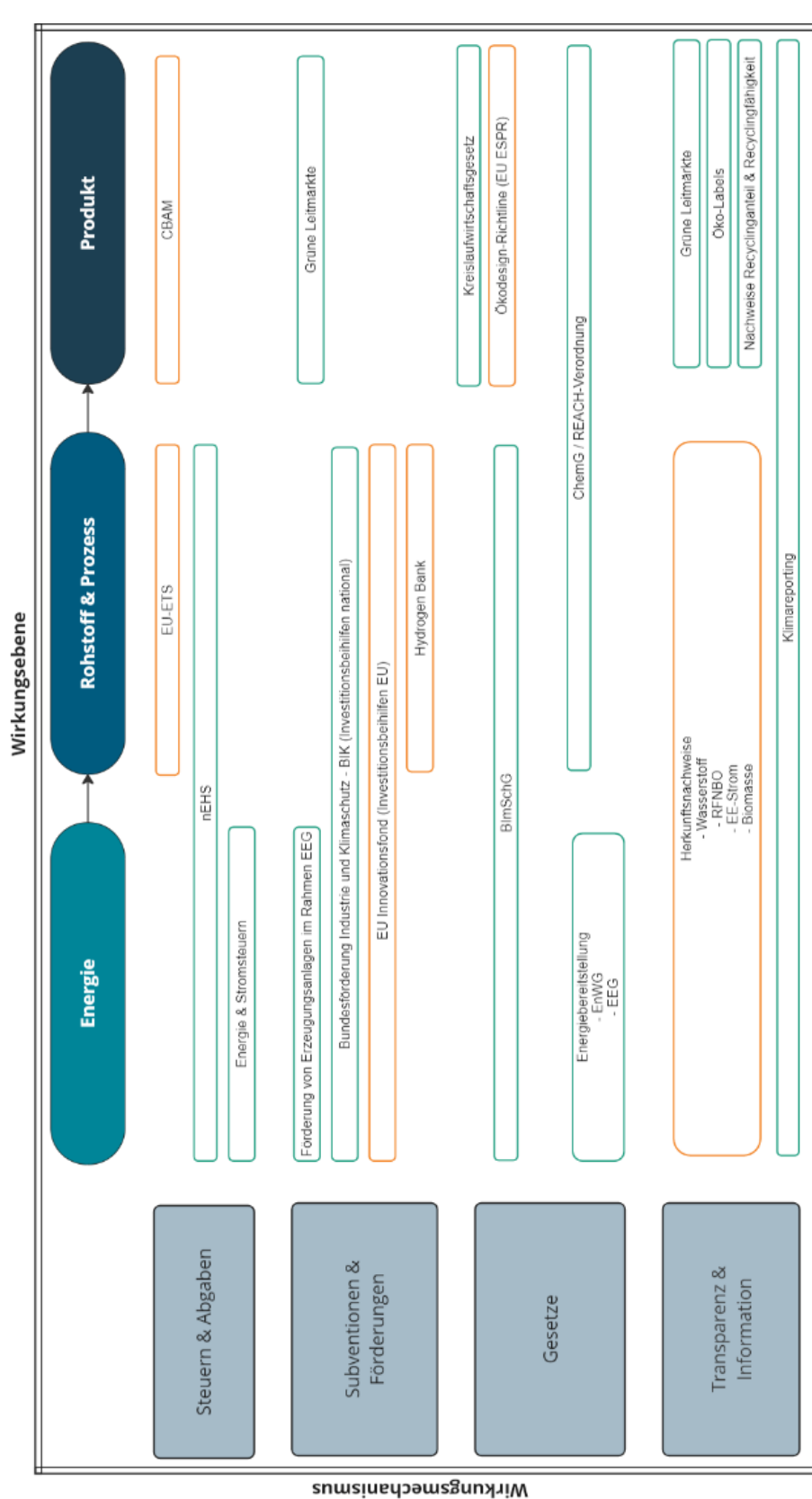
Um gesetzte Klimaschutzziele zu erreichen, haben Deutschland und die EU eine Reihe von Instrumenten geschaffen. In dieser Studie werden Instrumente zur Reduktion von Emissionen in der chemischen Industrie in folgende **Wirkungsebenen** gegliedert:

- a) Die Energieerzeugung (insbesondere Elektrizität und Wärme)
- b) Die Verwendung und Verarbeitung von Rohstoffen und Zwischenprodukten in Produktionsprozessen
- c) Produkte und ihre Eigenschaften

Weiterhin lassen sich politische Instrumente zur Defossilisierung der Chemieindustrie basierend auf ihrem **Wirkungsmechanismus** in vier Gruppen kategorisieren:

1. **Steuern und Abgaben:** Finanzielle Belastungen wie CO₂-Steuern oder Abgaben auf fossile Brennstoffe, die gesellschaftliche Externalitäten einpreisen und klimaschädliche Produkte und Prozesse verteuern.
2. **Subventionen und Förderungen:** Finanzielle Anreize wie Zuschüsse, Steuererleichterungen oder Förderprogramme, die Investitionen in nachhaltige Technologien und Prozesse unterstützen und klimafreundliche Produkte und Prozesse vergünstigen.
3. **Gebote und Verbote:** Gesetzliche Vorgaben wie Emissionsgrenzwerte, Verbote bestimmter umweltschädlicher Chemikalien oder Vorgaben zur Verwendung bestimmter Technologien oder Produkte.
4. **Transparenz und Information:** Maßnahmen, die darauf abzielen, Unternehmen und Verbraucher besser zu informieren, beispielsweise durch Berichterstattungspflichten, Labels oder Zertifizierungssysteme.

⁴ Die im KSG adressierten Sektoren sind die Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft sowie Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) (Deutscher Bundestag 2019).



Aspekte der Transformation in der chemischen Industrie

Abbildung 9: Politische Instrumente für die Transformation der chemischen Industrie, Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 9 gibt einen Überblick über politische Instrumente, die die Transformation der chemischen Industrie beeinflussen. Dabei sind auf deutscher Ebene beschlossene Instrumente grün markiert. Jene in orange wurden auf europäischer Ebene beschlossen. Im Folgenden werden diese, gegliedert nach ihrem Wirkungsmechanismus, kurz erörtert.

Zu Steuern und Abgaben zählen die beiden Emissionshandelssysteme EU-Emissionshandel (EU-ETS) und Nationaler Emissionshandel (nEHS). Der EU-ETS stellt ein marktbasierendes System dar, durch das Unternehmen Zertifikate für eigene Emissionen kaufen müssen. Die Preise der Zertifikate werden durch Angebot und Nachfrage bestimmt, was eine dynamische Preisbildung ermöglicht (Sitarz et al. 2024; Europäische Kommission 2021; Europäische Union 2003). Das nationale Emissionshandelssystem (nEHS) weist hingegen bis Ende 2025 einen festen, aber steigenden Preis je Tonne CO₂ auf. Es zielt darauf ab, fossile Energieträger in vom EU-ETS nicht erfassten Sektoren schrittweise zu verteuern und somit die Nutzung nachhaltigerer Energiequellen attraktiver zu machen (EEX 2022). Zusätzlich zu diesen Emissionshandelssystemen gibt es diverse Energie- und Stromsteuern, die für die Nutzung verschiedener Brennstoffe, Energieträger und Netze anfallen (Bähr et al. 2023; Dena 2023).

Ein weiteres wichtiges Instrument in der Kategorie Steuern und Abgaben ist der CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism), ein CO₂-Grenzausgleichsmechanismus der EU. Auf bestimmte Importe in die EU (unter anderem Wasserstoff und Düngemittel), muss eine Abgabe gezahlt werden, die von den bei der Erzeugung des importierten Produkts angefallenen Emissionen sowie der Höhe des aktuellen Emissionspreises im EU-ETS abhängt. Ziel ist die Vermeidung bzw. adäquate Bepreisung von Importen klimaschädlicher Produkte aus dem Ausland (Carbon Leakage) (European Commission 2024).

Diesen Steuern und Abgaben stehen diverse Subventionen und Förderungen gegenüber. Sie sollen Unternehmen der chemischen Industrie bei der Umstellung auf nachhaltige Produktionstechnologien und -anlagen unterstützen. Beispielsweise bietet das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) finanzielle Anreize für den Ausbau von erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen. Es garantiert feste Vergütungssätze für Strom aus erneuerbaren Quellen. Investitionsbeihilfen spielen ebenfalls eine wichtige Rolle. Auf deutscher Ebene ist insbesondere die *Bundesförderung Industrie und Klimaschutz* (BIK) relevant. Hierbei werden Unternehmen mittels Klimaschutzverträgen bei Investitionen in klimafreundlichere Produktionsanlagen unterstützt (BMWK 2024e).

Auf EU-Ebene zielt der Innovationsfonds darauf ab, Investitionen in neue Technologien und Prozesse zu fördern und die Emissionen der Industrie reduzieren. Ein weiteres wichtiges Instrument in der Kategorie Subventionen und Förderungen stellen *Grüne Leitmärkte* dar. Dieses aktuell noch in der Entwicklung befindliche Konzept (Stand Juni 2024) umfasst Förderungen für als „grün“ kategorisierte Produkte, um den Markt für nachhaltige Produkte zu stärken und die Nachfrage nach umweltfreundlichen Alternativen zu erhöhen (BMWK 2024c).

Des Weiteren gibt es eine Vielzahl von Gesetzen und gesetzlichen Regelungen, die auf die chemische Industrie und ihre Transformation einwirken. Auf Ebene der Energie handelt es sich vor allem um das EnWG (Energiewirtschaftsgesetz), das EEG (Erneuerbare-

Energien-Gesetz) und das BImSchG (Bundes-Immissionsschutzgesetz). Diese Gesetze regeln unter anderem die Produktion, Speicherung und den Transport von (grünem) Wasserstoff.

Auf Ebene der Produkte sind das Kreislaufwirtschaftsgesetz und die europäische Ökodesign-Richtlinie zu nennen. Während das Kreislaufwirtschaftsgesetz die Wiederverwertung und das Recycling von Materialien unterstützt, stellt das Konzept der Ökodesign-Richtlinie Mindestanforderungen an eine umweltgerechte Gestaltung von Produkten (z. B. Verpackungen) (Agora Industrie und Systemiq 2023).

Die letzte Wirkungskategorie umfasst Instrumente zur Erhöhung von Transparenz und Information. Dabei adressiert das Instrument des Klima-Reportings beispielsweise im Rahmen der *Corporate Social Responsibility* alle Wirkungsebenen (Energie, Rohstoff und Prozess, Produkt). So sind Unternehmen zunehmend verpflichtet, Berichte über eigene Bemühungen zum Klimaschutz und die Reduktion negativer Umweltwirkungen zu verfassen. Auf Ebene der Energieerzeugung sowie im Rahmen von Rohstoffen und Prozessen sind Herkunftsnachweise beispielsweise für Wasserstoff, RFNBO (Renewable Fuels of Non-Biological Origin), Strom und Biomasse ein genutztes Instrument. Es dient vor allem der Nachvollziehbarkeit von Energie- und Rohstoffgewinnungsprozessen sowie der dadurch entstandenen Umweltbelastungen. Auf Ebene der Produkte sind sogenannte Öko-Labels von Belang. Diese nicht einheitliche Gruppe von Kennzeichnungen zielt darauf ab, bestimmte Umwelteigenschaften (beispielsweise Recyclingfähigkeit) gegenüber dem Endkunden zu kommunizieren (BMWK 2024d).

Instrumente zur Reduktion von Emissionen in der chemischen Industrie sind vielfältig und decken verschiedene Wirkungsbereiche und -mechanismen ab. Durch eine Kombination aus finanzieller Belastung (Steuern und Abgaben) und Anreizen (Subventionen und Förderungen) sollen Unternehmen dazu motiviert werden, Prozesse und Produkte nachhaltiger zu gestalten. Neue Ansätze, wie das Konzept der *Grünen Leitmärkte*, versprechen eine Weiterentwicklung auf dem Weg zu einer defossilisierten chemischen Industrie.

3.2. Technologieoptionen für die net-zero Transformation

Die eben skizzierten Einflussphären politischer Instrumente auf die Transformation der chemischen Industrie lassen sich auch in entsprechenden Technologieoptionen wiederfinden. So bedarf die Transformation des Sektors einer umfassenden Umstellung der Energiebereitstellung, verwendeter Rohstoffe und Prozesse sowie der hergestellten Produkte.

Energieversorgung

In der chemischen Industrie werden erhebliche Mengen thermischer und elektrischer Energie in diversen Produktionsprozessen genutzt. Aktuell wird Prozesswärme in großen Teilen durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe erzeugt, was hohe Treibhausgas (ThG)-Emissionen verursacht (Agora Industrie und Future Camp 2022). Alternativ gibt es primär drei technologische Optionen für die nachhaltige Bereitstellung der benötigten Prozesswärme:

1. Elektrifizierung der Prozesswärme und Dampfbereitstellung (beispielsweise über Elektrodenkessel)
2. KWK-Kraftwerke mit kohlenstofffreien Brennstoffen wie Wasserstoff oder Ammoniak
3. KWK-Kraftwerke mit kohlenstoffhaltigen Brennstoffen wie Abfällen oder Biomasse, ergänzt durch CO₂-Abscheidung

Zunächst kann eine Wärmebereitstellung rein elektrisch erfolgen, beispielsweise durch die Verwendung von Hochtemperatur-Wärmepumpen oder Elektrodenkesseln (Agora Industrie und Future Camp 2022; Schiffer und Manthiram 2017). Weiterhin kann Wärme und Elektrizität in nachhaltigen KWK-Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplung) erzeugt werden. Hierfür kommen kohlenstofffreie Kraftstoffe wie beispielsweise grüner Wasserstoff in Frage. Entsprechende Anlagen befinden sich derzeit kurz vor der Marktreife (Yu et al. 2023). Alternativ können KWK-Anlagen mit nachhaltigen kohlenstoffbasierten Brennstoffen wie Biogas, Abfällen oder Holz betrieben werden. Allerdings entstehen hierbei neben Elektrizität und Wärme auch ThG-Emissionen (vgl. Abbildung 10, Bsp. Müllverbrennungsanlage). Zukünftig sollen diese Emissionen vermieden werden, indem Kohlenstoff aus den Verbrennungsgasen abgetrennt wird. Anschließend könnte dieser in weiteren Prozessschritten genutzt (Carbon Capture and Utilization – CCU) oder in geologischen Speichern eingelagert (Carbon Capture and Storage – CCS) werden. Bei Verwendung biogener Kohlenstoffquellen können so CO₂-Senken (Negativemissionen) entstehen.

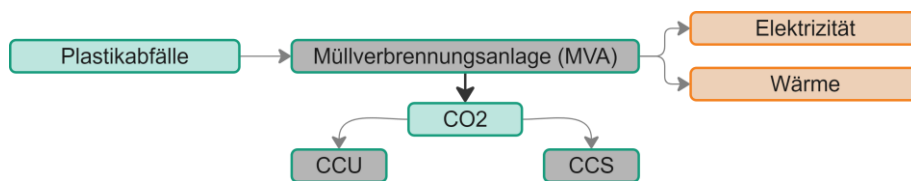


Abbildung 10: Energiegewinnung mit CCS am Beispiel einer Müllverbrennungsanlage; Quelle: Eigene Darstellung.

Neben Wärme wird Elektrizität für eine Vielzahl von Anwendungen in der chemischen Industrie benötigt. Ob erneuerbare Energiequellen wie Wind und Photovoltaik (PV) den gesamten Strombedarf der chemischen Industrie decken können, wird unter anderem durch die Verfügbarkeit entsprechender Flächen bedingt. Die Integration von Energiespeichertechnologien wie Batterien oder Power-to-X-Systemen ist essentiell, um eine kontinuierliche Energieversorgung sicherzustellen (Dena 2023; SCI4climate.NRW 2023). Erneuerbarer Strom kann bei entsprechender Verfügbarkeit ebenfalls genutzt werden, um grünen Wasserstoff mittels Elektrolyse als klimaneutralen Brennstoff herzustellen (Cloete und Hirth 2020).

Rohstoffe und Prozesse

Neben ihrer Rolle für die Energieerzeugung werden fossile Rohstoffe vor allem stofflich genutzt. Um eine grundlegende Defossilisierung der chemischen Industrie zu erreichen, müssten daher alternative Ressourcen und Prozesse verwendet werden. Eine Umstellung, insbesondere der petrochemischen Prozessrouten, zielt darauf ab, nötige Kohlenwasserstoffverbindungen aus fossilen Quellen durch nachhaltige Alternativen zu ersetzen (Meijering 2022; VCI 2023). In diesem Bereich lassen sich drei Möglichkeiten abgrenzen:

1. Nutzung von CO₂ aus industriellen Abgasen (Carbon Capture and Utilization – CCU) oder aus der Atmosphäre (Direct Air Capture - DAC)
2. Biogener Kohlenstoff: Verwendung von Biomassen (bspw. Holz und landwirtschaftliche Abfälle) aus nachwachsenden Rohstoffen
3. Rezyklierter Kohlenstoff (mechanisch/chemisch): Mechanisches Recycling zur Reduktion der Endnachfrage und chemisches Recycling zur Herstellung von Zwischenprodukten

Nachhaltige Kohlenstoffquellen liefern in der Regel Rohstoffe (wie CO₂ oder Lignocellulose), die sich in etablierte großchemische Prozessrouten zur Verarbeitung fossiler Rohstoffe (wie Naphtha und Ethan) nicht integrieren lassen. Daher müssen Teile der petrochemischen Wertschöpfungsketten durch die Verwendung neuer Prozessrouten und innovativer Technologien auf die Verarbeitung nachhaltiger Rohstoffe umgestellt werden. Zur Synthese nachhaltiger Basischemikalien kommen verschiedene Verfahrensrouten in Frage. In aktuellen Studien wird z. B. die Methanol- oder Fischer-Tropsch-Synthese durch Verwendung von Synthesegas aus grünem Wasserstoff und nachhaltigem CO₂ (z.B. aus industriellen Abgasen (CCU) oder atmosphärisches CO₂ (DAC)) in Betracht gezogen (VCI 2023). Auch die thermochemische Vergasung von Biomasse oder Abfällen ist eine mögliche Lösung (VCI 2023). Das synthetisierte Methanol oder Fischer-Tropsch-Naphtha wird im Anschluss zu Olefinen und Aromaten prozessiert (z. B. Methanol-to-Olefins-Prozess). Die so produzierten Basischemikalien können in etablierten großtechnischen Prozessrouten in die gewohnten Endprodukte weiterverarbeitet werden.

Innovative Produkte

Neben der Option, bestehende Produkte durch alternative Prozessrouten zu produzieren, können Transformationsstrategien auch direkt auf Ebene der Produkte ansetzen. So ist es möglich, Endprodukte durch nachhaltige Substitute mit ähnlichen Eigenschaften zu ersetzen. Hierfür müssen innovative Technologien für eine effiziente Umwandlung nachhaltiger Rohstoffe genutzt werden. Einen Schwerpunkt bilden biobasierte Polymere, die aus verschiedenen Biomassen (z. B. auf Zucker- oder Lignocellulose-Basis) hergestellt werden (VCI 2023). Als Beispiel können PLA-Polymere aufgeführt werden. Für diese werden mittels Fermentation erneuerbare Ressourcen wie Mais oder Zuckerrohr zu Milchsäure verarbeitet. Die Säure wird in einem weiteren Prozessschritt polymerisiert, um biologisch abbaubare Kunststoffe zu erzeugen.

Neben der Substitution etablierter Endprodukte durch stoffgleiche oder neuartige nachhaltige Alternativen, besteht eine weitere strategische Option zur Transformation der chemischen Industrie in der Erschließung neuer Produktfelder und Märkte. Als substanzieller Lieferant nahezu aller anderen verarbeitenden Industrien sind nachhaltige Zukunftstechnologien und entsprechende Produktgruppen für die Chemieindustrie höchst relevant. Ein vielversprechendes Produktfeld ist die Batterieproduktion, insbesondere im Kontext der Elektromobilität und der Energiespeicherung. Die Chemieindustrie nimmt eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung und Herstellung von fortschrittlichen Batteriematerialien ein.

4. Standortspezifische Transformationskonzepte

Kern der petrochemischen Produktion in Ostdeutschland sind die Standorte Leuna, Böhlen und Schkopau. Neben einer Erdölraffinerie befinden sich in Leuna vor allem die Produktion von organischen Grundstoffen, Polymeren, anorganischen Grundstoffen, Methanol und (fossilem) Wasserstoff. Böhlen ist primär durch die Produktion von organischen Grundstoffen durch die Aufspaltung von Naphtha geprägt. In Schkopau findet die Herstellung von Verpackungen, Kunststoffen und Fasern statt. Am Standort Piesteritz ist die Produktion von Ammoniak und nachgelagerten Produkten wie Harnstoff und Düngemittel dominierend. Im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen sind anorganische Zwischenprodukte maßgeblich. Zeitz ist einer der kleineren Standorte in der Region. Die dominierenden Produkte des Standortes sind chemische Grundstoffe, Schmierstoffe und Spezialchemie. Außerdem spielt die Verwertung von Biomasse und die Produktion von Biogas eine wichtige Rolle.

4.1. Methodik zur Erstellung der Transformationskonzepte

Ziel für die Erstellung der Transformationskonzepte in dieser Studie ist es, mittels eines systematischen Ansatzes (vgl. Abbildung 11) die spezifischen Gegebenheiten der Standorte zu erfassen und Perspektiven für den Übergang zu einer klimaneutralen Zukunft aufzuzeigen. Zunächst werden für jeden Chemiepark die Standortgegebenheiten analysiert. Dazu zählt neben der Erfassung der Rahmenfaktoren wie Anzahl der Mitarbeitenden und Infrastrukturanbindung (Schritt 1) vor allem die Beschreibung des aktuellen Produkt- und Prozessportfolios mit besonderem Fokus auf die Rohstoff- und Energieversorgung (Schritt 2).

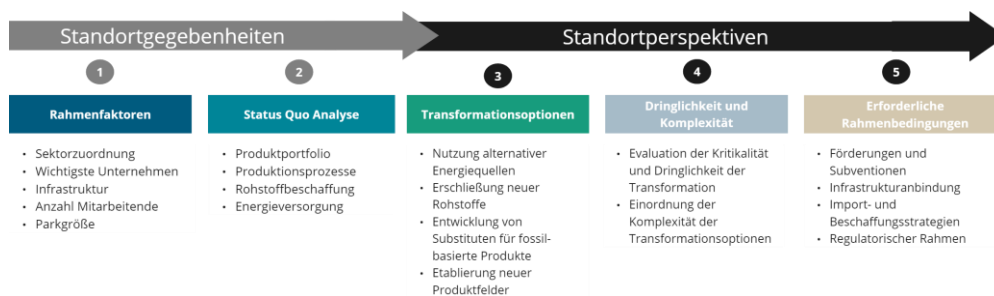


Abbildung 11: Methodik Transformationskonzepte; Quelle: Eigene Darstellung.

Anschließend werden die zukünftigen Standortperspektiven basierend auf den Standortgegebenheiten erarbeitet. Dafür werden in einem ersten Schritt die Transformationsoptionen für jeden Standort dargestellt (Schritt 3). Analog zu den in Kapitel 2.2 dargestellten technologischen Optionen umfasst dies 1) Die Energieversorgung, 2) Rohstoffe und Prozesse sowie 3) Produktsubstitute und -innovationen. Ausgehend von den Zukunftsperspektiven werden anschließend die Dringlichkeit und Komplexität der Transformation dargestellt (Schritt 4). So soll eine qualitative Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Standorten ermöglicht werden. Im letzten Schritt werden die erforderlichen Rahmenbedingungen für das Gelingen der Transformation aufgezeigt (Schritt 5).

Dies geschieht in Anlehnung an die in Kapitel 2.1 diskutierten politischen Umsetzungsinstrumente, die zur Defossilisierung der chemischen Industrie beitragen können.

4.2. Chemiapark Leuna

4.2.1. Standortgegebenheiten

Neben Schkopau und Böhlen ist Leuna das Zentrum der petrochemischen Produktion in Ostdeutschland. Auf einer Fläche von 1.300 Hektar beschäftigen 100 Unternehmen insgesamt 12.000 Mitarbeitende (IMG Sachsen-Anhalt 2022).

Steckbrief Leuna

Wichtigste Produkte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Raffinerieprodukte (z.B. Benzin, Diesel, Kerosin, etc.) ▪ Organische Grundstoffe (z.B. Benzol, Methanol, etc.) ▪ Salz- und Chlorchemikalien
Energieversorgung	Werkseigenes KWK-Kraftwerk (Erdgas)
Pipelines und Rohstoffversorgung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rohöl-Pipeline über Schwedt ▪ Wasserstoff-Pipelines nach Böhlen, Zeitz und Bitterfeld ▪ Ethylen-, Butadien-, Propylen-Pipeline aus Böhlen ▪ Erdgasanschluss an das Fernleitungsnetz
Gleisanschluss	Ja
Hafen- oder Flusszugang	Nein
Fläche	1.300 Hektar
Anzahl Mitarbeitende	12.000

Tabelle 2: Steckbrief Chemiapark Leuna; Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Unternehmensangaben.

Der Fokus des Standorts (vgl. Tabelle 2) liegt auf der Verarbeitung von Rohöl, der Herstellung und Weiterverarbeitung von organischen Grundstoffen (insbesondere Ethylen und Benzol), sowie auf der Salz- und Chlorchemie. Im Chemiapark befindet sich eine Raffinerie des französischen Konzerns TotalEnergies, in der Rohöl zu Benzin, Diesel, Heizöl, Flüssiggas, Flugkraftstoffen, Bitumen und Methanol verarbeitet wird. Bei Maximalauslastung hat die Anlage eine Kapazität von 12 Millionen Tonnen Rohöl jährlich. Die Raffinerie ist über Schwedt an die Druschba-Pipeline angebunden, welche Mittel- und Osteuropa mit russischem Erdöl beliefert (Total Energies 2024). Allerdings kann diese seit dem russischen Angriff auf die Ukraine nicht mehr genutzt werden. Stattdessen erfolgt die Versorgung der Raffinerie nun über den Ölhafen in Danzig (FAZ 2024). Weiterhin wird am Raffineriestandort mittels Dampfreformierung Wasserstoff aus Erdgas hergestellt, wobei das Produktionsvolumen bei voller Auslastung ca. 70.000 Kubikmeter Wasserstoff pro Stunde beträgt. Der so produzierte Wasserstoff wird teilweise lokal

verbraucht und teilweise über ein 150 km langes Leitungsnetz zu den Chemieparks in Bitterfeld, Böhlen und Zeitz transportiert (FAZ 2024).⁵

Im Segment der organischen Grundstoffe (vgl. Abbildung 3 in Kapitel 2) werden im Chemiepark Leuna hauptsächlich Ethylen und Benzol verarbeitet. Ethylen wird über eine Pipeline aus Böhlen bezogen (IMG Sachsen-Anhalt 2022) und dient als Basis für die Herstellung von Polyethylen, welches vor allem in Kunststoffverpackungen Anwendung findet. Zudem ist Ethylen in Leuna ein wesentlicher Bestandteil in der Produktion von Ethylenglykol zur anschließenden Weiterverarbeitung zu Polyesterfasern, sowie von Ethylenoxid (Herstellung von Reinigungs- und Desinfektionsmitteln) (VCI 2023). In etwas geringerem Maße ist auch Benzol relevant in Leuna. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in Leuna auf der Herstellung anorganischer Grundstoffe (Salz- und Chlorchemie). Da hierbei keine fossilen Rohstoffe genutzt werden, werden diese Produktionsprozesse bei der Erstellung von Transformationskonzepten ausgeklammert.

Aktuell erfolgt die Energiebereitstellung im Chemiepark Leuna vollständig auf fossiler Basis. Am Standort gibt es zwei KWK-Kraftwerke: Zum einen ein Gaskraftwerk, welches von dem Infrastrukturdienstleister des Chemieparks (InfraLeuna) betrieben wird. Zum anderen ein Raffineriekraftwerk, welches mit Raffinerierückständen betrieben wird und Dampf sowie Strom produziert (InfraLeuna 2021; STEAG 2023).

4.2.2. Standortperspektiven

Transformationsoptionen

Energiebereitstellung

Das bestehende erdgasbasierte Kraftwerk wurde in den Jahren 2020 bis 2022 erweitert und modernisiert (Kraftanlagen 2021). Mit dem Ziel Emissionen zu mindern, bestünde eine Möglichkeit darin, das bestehende Gaskraftwerk mit einer CO₂-Abscheidungstechnologie auszustatten. Das so abgeschiedene CO₂ kann entweder eingelagert werden (CCS) oder zur Herstellung von Produkten (CCU), beispielsweise von Synthesegas zur anschließenden Weiterverarbeitung zu Methanol, genutzt werden. Hierbei können sich sinnvolle Synergien für die Herstellung von organischen Grundstoffen ergeben.

Alternativ könnte zur Defossilisierung der Energiebereitstellung das Erdgas-KWK ersetzt werden. Hierfür gibt es drei Optionen. Erstens besteht die Möglichkeit, die Wärmebereitstellung elektrisch und ohne Verbrennungsprozesse zu realisieren. Hierfür bräuchte der Standort erhebliche Mengen erneuerbaren Strom. Dem entsprechend müssten lokale Erzeugungskapazitäten aufgebaut oder Strom extern bezogen werden. Zweitens können KWK-Anlagen mit Wasserstoff betrieben werden. Auch dieser müsste entweder lokal erzeugt (was wiederum erneuerbaren Strom erfordern würde) oder extern hinzugekauft werden. Drittens bietet sich in Leuna auch die Verwendung von Biomasse oder Abfällen in KWK-Anlagen an. Welche Option in Leuna am vorteilhaftesten wäre,

⁵ Da die Verarbeitung von Rohöl langfristig nicht zukunftsfähig ist, wird in dieser Studie kein Transformationskonzept für die Raffinerie erarbeitet.

hängt unter anderem von der Umstellung des Produkt- und Prozessportfolios und der Verfügbarkeit von Rohstoffen ab.

Rohstoffe und Prozesse

In der Erdöl-Raffinerie in Leuna werden wesentliche organische Vorprodukte hergestellt und vor Ort sowie in anderen Chemieparks weiterverarbeitet. Zusätzlich bezieht der Chemiepark Leuna organische Grundstoffe von anderen Standorten (unter anderem Ethylen aus Böhlen). Für die nachgelagerten Prozessketten sind vor allem Ethylen und Benzol relevant. Als Ersatz für die fossil-basierte Herstellung dieser Grundstoffe, bietet sich (grünes) Methanol an. Dieses kann über MtO-/MtA-Prozesse direkt in bestehende chemische Prozesse und Infrastruktur eingebunden werden (Drop-In-Route), ohne dass erhebliche Änderungen in den nachgelagerten Produktionsprozessen erforderlich werden (Li et al. 2023).

Das benötigte Methanol kann aus Synthesegas produziert werden. Dieses wiederum kann aus grünem Wasserstoff und CO₂ (Option 1) oder aus Biomasse (Option 2) hergestellt werden (vgl.

Abbildung 12). Für Option 1 wird zunächst grüner Wasserstoff mittels Elektrolyse produziert, wobei der dafür benötigte Strom aus erneuerbaren Energiequellen wie Wind und Photovoltaik (PV) gewonnen werden muss. Das Kohlendioxid kann aus verschiedenen Quellen gewonnen werden, wie zum Beispiel durch direkte Luftabscheidung (Direct Air Capture, DAC) oder aus industriellen Abgasen (CCU) (VCI 2023). Hierbei können sich sinnvolle Synergien mit der Energiebereitstellung ergeben, in dem das bestehende Gaskraftwerke mit einer CO₂-Abscheidungsanlage nachgerüstet wird.

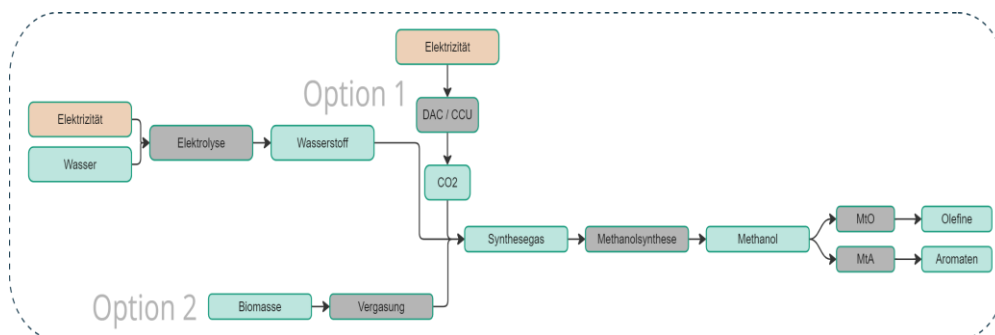


Abbildung 12: Methanolsynthese aus Wasserstoff und aus Biomasse; Quelle: Eigene Darstellung.

Bei Option 2 wird für die Herstellung von grünem Methanol Biomasse verwendet. Hierbei werden Holz(-reste) oder landwirtschaftliche Abfälle gesammelt und in einem Aufbereitungsprozess zerkleinert und getrocknet. Danach wird die vorbereitete Biomasse in einem Vergasungsprozess in ein Gasgemisch umgewandelt, das hauptsächlich aus Kohlenmonoxid, Wasserstoff und Kohlendioxid besteht. Dieses Synthesegas wird dann zu Methanol weiterverarbeitet (VCI 2023).

Eine Parallelinfrastruktur mit getrennten Anlagen für die Synthese von Methanol aus Wasserstoff und aus Biomasse wäre ebenfalls denkbar. Eine solche Diversifikation der Rohstoffquellen würde die Versorgungssicherheit erhöhen, da die Abhängigkeit von einer einzelnen Ressource reduziert werden würde. Außerdem böte eine Parallelinfrastruktur

die Möglichkeit, je nach Marktbedingungen oder Verfügbarkeit der Rohstoffe zwischen verschiedenen Optionen zu wechseln oder beide gleichzeitig zu nutzen. Allerdings kann der Betrieb mehrerer Anlagen auch zu Effizienzverlusten und Kostensteigerungen führen.

Unabhängig von der Rohstoffquelle, kann das gewonnene Methanol anschließend im Methanol-to-Olefins (MtO) Prozess zu Ethylen und im Methanol-to-Aromatics (MtA) Prozess zu Benzol weiterverarbeitet werden (Vogt und Weckhuysen 2024). So können die relevantesten Vorprodukte nachhaltig synthetisiert und die Versorgung der nachgelagerten Produktionsprozesse sichergestellt werden. Voraussetzung ist, dass die Gesamtsystemkonfiguration und Prozessversorgung einen wettbewerbsfähigen Betrieb ermöglicht. Dafür ist eine koordinierte Standortentwicklung notwendig. Neben den ansässigen Unternehmen wäre der Infrastrukturbetreiber InfraLeuna ein guter Ausgangspunkt hierfür.

Produkte

Der Standort Leuna bietet auch Potenziale für die Erschließung neuer Produktfelder im Bereich biobasierte Chemikalien und Polymere. Maßgeblich hierfür sind die Aktivitäten des finnischen Unternehmens UPM. Dieses baut seit 2020 eine Bioraffinerie in Leuna, mit dem Ziel, aus nachhaltig erwirtschaftetem Laubholz, Substitute für bestehende, fossil-basierte Produkte zu gewinnen. Die jährlich angestrebte Produktionsmenge der Anlage beträgt 220.000 Tonnen (circa 9,5 % der bisherigen Produktionskapazitäten in Leuna⁶). Ende 2024 soll die UPM-Bioraffinerie in Betrieb genommen werden. Als Rohstoff kommt Buchenholz zum Einsatz, das aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern in Hessen, Thüringen, Sachsen-Anhalt und Niedersachsen gewonnen wird (UPM 2024).

In der Bioraffinerie wird das entrindete und gehäckselte Holz mittels enzymatischer Hydrolyse in Zucker und Lignin aufgespalten. Der gewonnene Zucker wird anschließend zu Bio-Monoethylenglykol (BioMEG) und Bio-Monopropylenglykol (BioMPG) weiterverarbeitet. Aus Bio-Monoethylenglykol werden Polyethylenterephthalat (PET) und diverse Verpackungsmaterialien hergestellt. Außerdem lassen sich daraus Polyester für Kunststofffasern produzieren. In einer parallelen Prozesskette wird Lignin genutzt und zu funktionalen Füllstoffen (RFF) weiterverarbeitet, die in verschiedenen Gummi-Materialien Anwendung finden. Die in der UPM-Raffinerie hergestellten Produkte dienen zum einen als Drop-in-Substitute für bestehende Zwischenprodukte (BioMEG und BioMPG) und zum anderen nachhaltige Substitute für Endprodukte (RFF).

Dringlichkeit und Komplexität der Transformation

Das bestehende KWK-Gaskraftwerk wurde im Jahr 2022 modernisiert und erweitert. Dennoch besteht erheblicher Transformationsdruck zur Reduktion der energiebedingten Emissionen. Diese kann beispielsweise durch die Integration einer CO₂-Abscheidungsanlage in das bestehende Gaskraftwerk erfolgen. Auf der Ebene der Rohstoffe und Prozesse sind vor allem die organischen Grundstoffe Ethylen und Benzol kritisch,

⁶ Eigene Berechnung basierend auf Angaben von UPM und Daten von Darueber BV.

da diese derzeit vollständig fossil-basiert sind. Die Umstellung der Produktion auf Methanolbasis bietet eine nach aktuellem Stand der Forschung zielführende Möglichkeit zur Defossilisierung. Sofern das bestehende Portfolio an Endprodukten erhalten bleiben soll, müssen grünes Ethylen und Benzol zukünftig entweder in Leuna hergestellt oder zugekauft werden. In ersterem Fall müssen Kapazitäten zur Methanolsynthese sowie MtO- und MtA-Anlagen geschaffen werden. Wird Methanol aus Biomasse gewonnen, könnten möglicherweise Wechselwirkungen mit dem Rohstoffbezugssystem von UPM erzielt werden. Potenziell könnte so die Effizienz der Versorgungsketten erhöht und Kosten gesenkt werden. Dies würde allerdings erhebliche Komplexität implizieren und eine starke Vernetzung der Aktivitäten erfordern.

Als Alternative zur Biomasse käme auch Wasserstoff und CO₂ für die Methanolherstellung in Frage. Hier könnten Synergien mit der Energiebereitstellung entstehen, beispielsweise indem das im Gaskraftwerk abgeschiedene CO₂ als Rohstoff zur Herstellung von Synthesegas genutzt wird. Sofern allerdings weiterhin Erdgas zur Energieerzeugung verwendet wird, wären die nachgelagerten Zwischen- und Endprodukt dennoch fossil-basiert. Weiterhin ist zu bedenken, dass sich die Energiebilanz des Standorts durch Umstrukturierungen der Produktionsprozesse substantiell ändern kann. Daher ist die Energieversorgung immer in Abstimmung mit dem Produktionssystem anzupassen.

Erforderliche Rahmenbedingungen

Sollen in Leuna die organischen Grundstoffe zukünftig nicht mehr aus fossilen Rohstoffen, sondern aus grünem Methanol hergestellt werden, bedarf es Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, um die Methanol-Synthese sowie MtO/MtA-Prozesse in großtechnischem Maßstab zu erproben. Weiterhin sollte neben der Skalierung der Methanolproduktion vor Ort auch die Erarbeitung einer Methanol-Importstrategie in Erwägung gezogen werden. Aktuell hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz der Bundesrepublik Deutschland BMWK vergleichbare Importstrategien bereits für grünen Wasserstoff, grünen Ammoniak und nachhaltige Flugkraftstoffe (BMWK 2024b). Eine Strategie zur Förderung des Imports von grünem Methanol könnte folgen. Hierfür müsste auch eine Transportinfrastruktur von potenziellen Importhäfen nach Leuna geschaffen werden. Die Transportoptionen Pipeline und Schiene wären komparativ zu evaluieren. Schließlich müssen Finanzierungsinstrumente für die Investition in Anlagen und für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben gestärkt werden.

Die Integration einer CO₂-Abscheidungsanlage in das bestehende Erdgas-KWK würde von progressiven Entwicklungen im Bereich CCS profitieren. So hängt die Wirtschaftlichkeit der Abscheidung und Einlagerung von CO₂ von mehreren Faktoren ab. Diese umfassen einerseits die Investitions- und Betriebskosten einer solchen Anlage und andererseits die weitere Entwicklung der EU-ETS Zertifikatspreise sowie die Schaffung eines Marktes für Negativemissionen. Gegebenenfalls sind Subventionen notwendig, falls die vermiedenen Emissionskosten nicht ausreichen, um die Kosten für die CO₂-Abscheidungsanlage zu kompensieren. Darüber hinaus muss eine CO₂-Infrastruktur aufgebaut werden, welches insbesondere ein Pipelinesysteme von den Punktquellen zu Speichern oder lokalen Verwertungsanlagen umfasst. Auch müssen CCS-Kapazitäten aufgebaut werden. Die anstehende Novellierung des Kohlendioxidspeicherungsgesetzes schafft hierfür die entsprechenden Voraussetzungen (BMWK 2024f).

4.3. Werksverbund Böhlen/Schkopau

4.3.1. Standortgegebenheiten

Der zweite wichtige Standort der Petrochemie in Ostdeutschland ist der Werksverbund Schkopau/Böhlen (vgl.

Tabelle 3). Auf insgesamt 600 Hektar produzieren 2.300 Mitarbeitende hauptsächlich organische Grundstoffe (in Böhlen) sowie Polymere, Verpackungen und Kunststofffasern (in Schkopau) (IMG Sachsen-Anhalt 2022).

Steckbrief Werksverbund Böhlen/Schkopau

Wichtigste Produkte	Böhlen: Organische Grundstoffe Schkopau: Polymere, Verpackungen und Kunststofffasern
Energieversorgung	Böhlen: Kohlekraftwerk Lippendorf und aus eigenem Steamcracker (Wärmerückgewinnung) Schkopau: Kohlekraftwerk Schkopau
Pipelines und Rohstoffversorgung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pipeline zur Versorgung mit Naphtha und Pyrolysebenzin aus Rostock ▪ Pipeline für Wasserstoff aus Leuna ▪ Ethylen-Pipeline nach Leuna ▪ Internes Pipelinenetz zum Austausch von HVC (u. a. Ethylen, Propylen, Butadien und Aromaten)
Gleisanschluss	Ja
Hafen- oder Flusszugang	Nein
Fläche	600 Hektar
Anzahl Mitarbeitende	2.300 + ValuePark

Tabelle 3: Steckbrief Werksverbund Böhlen/Schkopau, Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Unternehmensangaben.

Ausgangspunkt der Produktionsprozesse im Werksverbund ist das Steamcracking in Böhlen. Im Cracker wird fossiles Naphtha (Rohbenzin) in die Olefine Ethylen, Propylen und Butadien sowie die Aromaten Benzol, Toluol und Xylol gespalten (Layritz et al. 2021). Abbildung 13 illustriert schematisch die Funktionsweise des Steamcrackers in Böhlen.

Das Aufspalten des Naphthas erfordert Temperaturen von ca. 800° C. Die notwendige Wärmeenergie wird in der Regel durch die Verbrennung von Nebenprodukten des Spaltprozesses (wie Methan) erzeugt. Dadurch werden in allen deutschen Steam-Cracking-Anlagen zusammen circa 25% der THG-Emissionen der Chemieindustrie in Deutschland verursacht. Ein Teil der notwendigen Prozesswärme des Steamcrackings kann zurückgewonnen und für andere Produktionsprozesse verwendet werden. Die so produzierten organischen Grundstoffe haben eine hohe Relevanz für die nachfolgenden Wertschöpfungsketten und werden daher auch als *high-value chemicals* (HVC) bezeichnet.

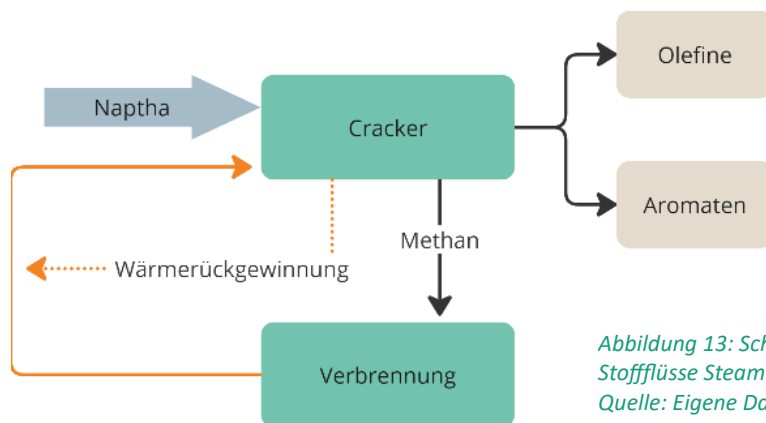


Abbildung 13: Schematische Darstellung Stoffflüsse Steam Cracker;
Quelle: Eigene Darstellung.

Die Energieversorgung des Werksverbunds erfolgt über mehrere Bezugsquellen. In Böhlen wird die Abwärme des dortigen Steamcrackers genutzt, wodurch der externe Energiebedarf verringert wird. Zusätzlich wird Strom und Prozessdampf aus dem nahegelegenen Kohlekraftwerk Lippendorf bezogen (LEAG 2023). Der Chemiepark in Schkopau wird mit Abwärme aus dem dortigen Kohlekraftwerk Schkopau versorgt, Strom wird analog zu Böhlen direkt aus dem Kohlekraftwerk und über das Stromnetz bezogen (Saale Energie 2024).

4.3.2. Standortperspektiven

Transformationsoptionen

Energiebereitstellung

Der geplante Kohleausstieg wird die Abschaltung des Kraftwerks Schkopau im Jahr 2034 (Saale Energie 2024) und die des Kraftwerks Lippendorf im Jahr 2035 zur Folge haben (LEAG 2023). Angesichts der starken Abhängigkeit des Werksverbundes von beiden Kohlekraftwerken ist der Aufbau eigener Versorgungsstrukturen von großer Dringlichkeit. In Schkopau sind bisher keine konkreten Ankündigungen für Investitionen in nachhaltige Energieversorgungsanlagen bekannt. Neben dem Bau eines eigenen Kraftwerks könnte auch eine Wärmeintegration mit dem benachbarten Standort Leuna in Betracht gezogen werden. In Böhlen gibt es bereits Pläne für ein wasserstoffbetriebenes KWK-Kraftwerk. Der Betreiber des Kohlekraftwerks Lippendorf (LEAG) plant, dort ab 2025 ein wasserstofffähiges Gaskraftwerk zu bauen (LEAG 2023). Wie viel Wärme zukünftig benötigt wird, hängt unter anderem von der weiteren Nutzung des Steamcrackers ab. Dessen Abwärme ist gegenwärtig ein wichtiger Bestandteil der Energieversorgung. Eine mögliche Elektrifizierung des Steamcrackers würde eine massive Erhöhung des Strombedarfs am Standort Böhlen verursachen (Fraunhofer ISI 2024).

Rohstoffe und Prozesse

Auf Ebene der Rohstoffe und Prozesse besteht im Werksverbund der größte Transformationsdruck bei der Umstellung des Steamcrackers und damit am Standort Böhlen.

Am Standort Schkopau werden primär die im Cracker produzierten HVCs weiterverarbeitet. Die dortigen Produktionsprozesse unterliegen daher keinem unmittelbaren Transformationsdruck, sofern sie mit nachhaltigen HVCs versorgt werden. Zur Versorgung der Verarbeitungsprozesse in Schkopau mit den benötigten nachhaltigen HVCs lassen sich zwei grundlegende Transformationspfade skizzieren:

1. Transformationspfad 1: Der Steamcracker wird durch alternative Prozesspfade für die Herstellung der organischen Grundstoffe ersetzt. Hierfür kommen insbesondere die Methanol-to-Olefins (MtO) und Methanol-to-Aromatics (MtA) Prozesse in Frage.
2. Transformationspfad 2: Der Steamcracker bleibt als Prozess erhalten, allerdings werden Energiebereitstellung und/oder Feedstock entsprechend umgestellt und CCU-Technologien integriert.

Transformationspfad 1: Alternative Prozesspfade ersetzen Steamcracker

MtO- und MtA-Prozesse stellen vielversprechende Alternativen zur Herstellung organischer Grundstoffe dar. Der MtO-Prozess produziert hauptsächlich die Olefine Ethylen und Propylen, während der MtA-Prozess Aromaten wie Benzol, Toluol und Xylol hervorbringt. Durch die Nutzung von Methanol als Ausgangsstoff wird der Bedarf an fossilen Rohstoffen sowie die CO₂-Emissionen gesenkt. Wie bereits im Transformationskonzept für den Standort Leuna dargestellt, wird das benötigte grüne Methanol aus Synthesegas hergestellt. Dieses kann entweder aus der Vergasung von Biomasse oder aus CO₂ und Wasserstoff gewonnen werden. Zu beachten ist, dass die Methanol-Route zu einer gegenüber dem konventionellen Steamcracking von Naphtha veränderten Zusammensetzung des Produktspektrums führt (Vogt und Weckhuysen 2024). Die Herausforderung liegt hierbei darin, diese veränderten Produktströme effektiv in die bestehenden Prozesse in Böhlen und die nachgelagerte Kunststoffproduktion in Schkopau zu integrieren. Für den Werksverbund ergibt sich für dieses Szenario die Frage, ob die Synthese nachhaltiger HVCs weiter am Standort Böhlen bestehen bleiben oder am Standort Schkopau integriert werden sollte.

Transformationspfad 2: Elektrifizierung der Prozesswärmebereitstellung und Umstellung des Cracker Feedstocks

Alternativ könnte auch am Steamcracking als bestehender Prozess festgehalten werden. In diesem Fall kann eine Verringerung der Emissionen durch die Umstellung der Energiebereitstellung (Prozesswärme) sowie die Anpassung des Feedstocks erreicht werden.

Integration von CCU in die Methanverbrennung

Die Emissionen des Steamcrackers stammen nahezu vollständig aus der Verbrennung von Methan zur Erzeugung der erforderlichen Prozesswärme. Eine Integration der CO₂-Abscheidung in die Methanverbrennung könnte diese Emissionen verhindern, sodass eine Umstellung der Energieversorgung nicht erforderlich wäre. Allerdings wäre dann eine stoffliche Nutzung des abgeschiedenen CO₂ oder die langfristige Einlagerung notwendig. Dies würde die Anbindung des Standorts an ein überregionales CO₂-Netz erfordern.

Umstellung Energiebereitstellung (Prozesswärme)

Alternativ kann die erforderliche thermische Energie elektrisch bereitgestellt werden, beispielsweise durch Hochtemperatur-Power-to-Heat-Systeme wie Elektrodenkessel (Fraunhofer ISI 2024). Abbildung 14 verdeutlicht das Funktionsprinzip eines elektrifizierten Steamcrackers. Durch den Verzicht auf die Verbrennung von Methan entfallen die direkten CO₂-Emissionen. Erfolgt die Stromversorgung emissionsfrei, entstehen auch keine indirekten Emissionen.

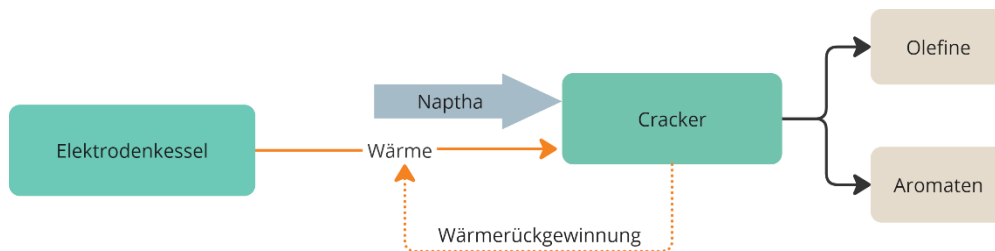


Abbildung 14: Schematische Funktionsweise eines elektrifizierten Steamcrackers

Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass beim elektrifizierten Steamcracking weiterhin Methan produziert wird (als Spaltprodukt des Naphthas), welches aufgrund der elektrischen Wärmebereitstellung keine direkte Verwendung mehr findet. Diese Problematik könnte vermieden werden, wenn die Wärmeversorgung weiterhin über Methan (in Kombination mit CCU) erfolgen würde. Zudem reduziert eine Elektrifizierung des Steamcrackers lediglich die direkten Emissionen. Die sonstigen Umweltbelastungen entlang der Naphtha-Olefin-Kunststoff-Wertschöpfungskette, wie etwa in der Ölförderung, der Raffinierung und der End-of-Life-Behandlung (Verbrennung von Abfällen), bleiben davon unberührt. Folglich werden bei der Verwendung fossilen Naphthas die Produkte nicht defossilisiert und fossile THG-Emissionen treten in späteren Phasen der Produktlebenszyklen auf (Rootzén et al. 2023).

Umstellung Feedstock

Um eine vollständige Defossilisierung und Emissionsvermeidung des Steamcracking-Prozesses zu erreichen, muss auch der genutzte Feedstock umgestellt werden. Dieser bezeichnet das Ausgangsmaterial, das in den Cracking-Prozess eingebracht und dort aufgespalten wird. Als Alternativen zum bisher genutzten fossilen Naphtha bieten sich insbesondere biobasiertes Naphtha und Pyrolyseöl aus Kunststoffabfällen an (Meijering 2022). Aktuell wird in Böhlen die größte Anlage Europas für chemisches Recycling gebaut. Diese soll 2025 in Betrieb gehen und eine maximale jährliche Kapazität von 120.000 t Kunststoffabfällen haben (Dow Chemical 2022). Sowohl biobasiertes Naphtha als auch Pyrolyseöl haben eine chemisch ähnliche Zusammensetzung wie fossiles Naphtha. Daher können sie gut in bestehenden Steamcracking-Prozessen eingesetzt werden, da die bestehenden Anlagen und Verfahren nur geringfügig angepasst werden müssen (Vogt und Weckhuysen 2024). Allerdings sind beide Alternativen noch nicht in einem großskaligen Maßstab erprobt worden und es gibt derzeit keine etablierten Versorgungsketten. Dementsprechend ergeben sich auch Fragen zur technischen und ökonomischen Machbarkeit dieser Umstellung.

Produkte

Entsprechend der skizzierten Transformationsszenarien sind auf Ebene der Produkte im Value Park Schkopau/Böhlen keine größeren Transformationen zu erwarten. In Böhlen werden hauptsächlich High Value Chemicals produziert, die unverzichtbarer Ausgangspunkt für nachgelagerte Wertschöpfungsstufen sind. Änderungen sind hier unwahrscheinlich. Verfahrenstechnische Anpassungen sind gegebenenfalls bei der Zusammensetzung der Produktströme zu erwarten, falls der Feedstock des Steamcrackers umgestellt werden sollte oder statt dem Naphtha-Cracking Methanol-basierte Prozesse zum Einsatz kommen. In der Herstellung von Kunststoffen, Verpackungen und Fasern in Schkopau kommt es wahrscheinlich sukzessive zu Produktinnovationen. Möglich ist auch der Aufbau bio-basierter Prozessketten (wie beispielsweise durch UPM am Standort Leuna). Konkrete Entwicklungen in diese Richtung sind für Schkopau bisher nicht zu erkennen.

Dringlichkeit und Komplexität der Transformation

Im Value Park Schkopau/Böhlen besteht vor allem hinsichtlich zweier Aspekte ein hoher Transformationsdruck. Der erste Aspekt ist der Aufbau einer eigenen, nachhaltigen Energieversorgung. Der geplante Kohleausstieg an den betroffenen Standorten Schkopau und Böhlen ist zwar erst für die Jahre 2034 und 2035 vorgesehen, jedoch könnten steigende Emissionspreise die Kohleverstromung schon deutlich früher unrentabel machen. In einem solchen Fall wäre die Wärmeversorgung weder in Schkopau noch in Böhlen gesichert, was deutliche Einschränkungen bei der Produktion zur Folge haben könnte. Der zweite zentrale Aspekt ist die Zukunft des Steamcrackers. Hier muss entschieden werden, ob dieser zukünftig durch andere Verfahrensrouten (bspw. MtO/MtA) ersetzt werden soll oder unter Umstellung der Energieversorgung und des Feedstocks beibehalten wird. Diese Entscheidung ist von zentraler Bedeutung für die langfristige strategische Ausrichtung des Standorts. Insgesamt ist die Komplexität der Transformation moderat, da primär die Produktion einiger weniger Grundstoffe angepasst werden muss. Die nachgelagerten, kleinteiligen Prozessketten sind weniger betroffen. Herausforderungen ergeben sich vor allem bei der Schaffung geeigneter und resilienter Versorgungsketten, um die Stabilität und Effizienz der Produktionsprozesse während und nach der Transformation sicherzustellen.

Erforderliche Rahmenbedingungen

Um den Transformationsprozess im Value Park Schkopau/Böhlen erfolgreich zu gestalten, müssen verschiedene Rahmenbedingungen geschaffen werden. Sollen die organischen Grundstoffe zukünftig über die Methanol-Route hergestellt werden, müssen die MtO- und MtA-Prozesse in großtechnischem Maßstab erprobt werden, was erhebliche Aufwendungen für Forschung und Entwicklung notwendig macht. Weiterhin bedürfte es in diesem Fall Synthese- oder Importkapazitäten für größere Mengen grünen Methanols. Falls statt der Umstellung auf die Methanolroute das Steamcracking beibehalten werden soll, ist die Umstellung der Energiebereitstellung und des Feedstocks notwendig. Eine Elektrifizierung der Wärmebereitstellung des Steamcrackers wird aktuell von BASF in Ludwigshafen erprobt (BASF; RWE 2021), was als Beispiel für den Standort Böhlen dienen könnte. Um den steigenden Strombedarf zu decken, könnten Power

Purchase Agreements (PPA) oder Joint Ventures mit Energieerzeugern abgeschlossen werden. Alternativ könnte auch ein deutlicher Zubau der EE-Kapazitäten vor Ort erfolgen. Zudem ist der Aufbau von Stromspeichern notwendig, beispielsweise durch Wasserstoff- oder Batteriespeicher. Weiterhin müssen für das geplante wasserstofffähige Gaskraftwerk in Böhlen spätestens ab 2028 relevante Mengen grünen Wasserstoffs am Standort verfügbar sein. Zusätzlich müssten Versorgungsketten für alternative Feedstock-Optionen aufgebaut werden, beispielsweise für bio-basiertes Naphtha oder Pyrolyseöl aus chemischem Recycling.

Unabhängig davon, ob das Steamcracking erhalten bleibt oder durch MtO/MtA ersetzt wird, sind massive Investitionen am Standort Böhlen für die Umstellung der Produktionstechnologien notwendig. Das neu geschaffene Instrument der Differenzkontrakte bietet hierfür eine relevante und finanzstarke Förderung; gleiches gilt für den EU-Innovationsfonds. Einen weiteren sinnvollen Rahmen bietet die Etablierung grüner Leitmärkte, die feste Kriterien für nachhaltig hergestellte Produkte definieren und deren Produktion befördern.

4.4. Agro-Chemie Park Piesteritz

4.4.1. Standortgegebenheiten

Der Agro-Chemie Park Piesteritz ist durch die Produktion von Ammoniak und nachgelagerten Produkten wie Harnstoff und Düngemittel geprägt (vgl. Tabelle 4). Über 50 Unternehmen mit insgesamt 4.500 Mitarbeitenden sind auf dem Gelände angesiedelt. Hauptakteur ist das Unternehmen SKW Piesteritz GmbH als Deutschlands größter Ammoniak- und Harnstoffhersteller (IMG Sachsen-Anhalt 2022).

Steckbrief Piesteritz

Wichtigste Produkte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ammoniak ▪ Harnstoff und Düngemittel ▪ Melamin ▪ AdBlue Dieselzusatz
Energieversorgung	Abwärme aus Dampfreformierung
Pipelines und Rohstoffversorgung	Erdgasanschluss an das Fernleitungsnetz der Ontras Gastransport GmbH
Gleisanschluss	Ja
Hafen- oder Fluss-zugang	Elbe-Hafen Zugang
Fläche	220 Hektar
Anzahl Mitarbeitende	4.500

Tabelle 4: Steckbrief Piesteritz; Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Unternehmensangaben.

Wichtigster Rohstoff am Standort ist Erdgas, wobei die SKW Piesteritz GmbH einer der bundesweit größten Erdgasverbraucher ist. Das Erdgas wird bei hohen Temperaturen

(700-1.000 Grad Celsius) durch Dampfreformierung zu Synthesegas weiterverarbeitet, sodass Wasserstoff und CO₂ entstehen. Der Wasserstoff wird zusammen mit Stickstoff im Haber-Bosch-Verfahren zu Ammoniak synthetisiert. Anschließend wird Ammoniak am Standort zu Harnstoff und verschiedenen Düngemitteln weiterverarbeitet (IMG Sachsen-Anhalt 2022).

Die Dampfreformierung von Erdgas ist eine endotherme Reaktion, das heißt, sie erfordert Wärmeenergie. Diese Wärme wird typischerweise durch die Verbrennung eines Teils des Erdgasstroms bereitgestellt. Die Ammoniaksynthese aus Wasserstoff und Stickstoff selbst ist eine exotherme Reaktion, das heißt, sie setzt Wärme frei. In Piesteritz wird die Abwärme verschiedener Prozessschritte (einschließlich der exothermen Ammoniaksynthese) zurückgewonnen und weiterverwendet. So wird der Energieverbrauch optimiert und die Effizienz gesteigert.

4.4.2. Standortperspektiven

Transformationsoptionen

Energiebereitstellung

Das Transformationskonzept für die Energiebereitstellung am Standort Piesteritz ist abhängig davon, ob Ammoniak weiterhin vor Ort hergestellt wird. Fällt die Ammoniaksynthese am Standort weg, muss eine alternative Wärmebereitstellung für die nachgelagerten Prozessschritte erfolgen. Dies kann beispielweise durch die Elektrifizierung der Wärmebereitstellung oder die exotherme Verbrennung von nachhaltigen Energieträgern (bspw. Wasserstoff oder Biomethan) geschehen. Die Optionen für die Wärmebereitstellung am Standort Piesteritz sind vergleichbar zu jenen, die im vorangegangenen Unterkapitel für den Standort Böhlen/Schkopau dargestellt wurden. Daher werden sie an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt.

Rohstoffe und Prozesse

Der mit Abstand höchste Transformationsdruck liegt auf der Änderung des Rohstoffbezugs von Ammoniak. Um die Abhängigkeit von fossilem Erdgas zu lösen, gibt es zwei Alternativen für die Versorgung mit Rohstoffen am Standort Piesteritz:

1. Lokale Produktion von Ammoniak aus grünem Wasserstoff
2. Import von grünem Ammoniak aus dem Ausland

In beiden Fällen könnte die anschließende Weiterverarbeitung von Ammoniak zu Düngemitteln und weiteren Produkten vor Ort erhalten bleiben.

Lokale Produktion von Ammoniak aus grünem Wasserstoff

Aktuell wird Ammoniak aus erdgasbasiertem Wasserstoff hergestellt. Um die THG-Emissionen des Prozesses zu verringern, sollte auf die Verwendung fossiler Rohstoffe verzichtet werden. Eine alternative Möglichkeit ist die lokale Produktion von Ammoniak aus grünem Wasserstoff. Letzterer wird mittels Elektrolyse von Wasser unter Einsatz von erneuerbarem Strom gewonnen. Der grüne Wasserstoff wird anschließend mit Stickstoff aus der Luft im Haber-Bosch-Verfahren zu Ammoniak synthetisiert. Der Produktionsprozess ist

CO₂-neutral, solange der verwendete Strom aus emissionsfreien Quellen (bspw. Wind- oder PV-Energie) bezogen wird (BMWK 2024b). Die Umsetzung dieser Option erfordert entweder hohe Investitionen in Elektrolyseanlagen oder den Import von grünem Wasserstoff (z.B. über Pipeline oder Binnenschiff). In beiden Fällen müssen logistische Infrastrukturen für Speicherung und Umschlag von Wasserstoff vor Ort aufgebaut werden. Außerdem müssten erhebliche Erzeugungs- oder Bezugskapazitäten für erneuerbaren Strom geschaffen werden. Trotz hoher Anfangskosten bietet diese Lösung langfristige Vorteile, insbesondere durch die Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern und eine hohe Resilienz der Rohstoff- und Energieversorgung.

Import von Ammoniak aus dem Ausland

Eine zweite Möglichkeit für den Rohstoffbezug ist der Import von Ammoniak aus dem Ausland. Als Exportregionen bieten sich primär Länder mit einem hohen Potential für erneuerbare Energien an (BMWK 2024b; Grimm 2023; Devlin et al. 2023). Durch eine diversifizierte Bezugsstrategie kann sichergestellt werden, dass die bestehende Abhängigkeit von Erdgasimporten nicht auf Ammoniakimporte verschoben wird. Da der Agro-Chemiepark Piesteritz Zugang zu einem Elbe-Hafen hat, bieten sich gute Voraussetzungen für den Import von Ammoniak per Schiff. Wird Ammoniak importiert, entfällt allerdings die Dampfreformierung am Standort, die bislang unter anderem als Kohlenstoffquelle für die Harnstoffherstellung dient. Demnach müssten alternative Kohlenstoffquellen erschlossen werden. Eigene CO₂-Punktquellen hat der Standort nicht, sodass eine externe Versorgung nötig wäre. Wenn entsprechende CO₂-Pipelines gebaut würden, könnte das CO₂ von anderen Standorten bezogen werden. Alternativ könnte Direct Air Capture (DAC) in Betracht gezogen werden, um das benötigte CO₂ aus der Luft zu gewinnen. Dies würde jedoch erhebliche Mengen an erneuerbarem Strom erfordern. Aus Perspektive der Beschäftigten wäre zu berücksichtigen, dass durch den Import von Ammoniak die Herstellung von Wasserstoff und die Ammoniaksynthese am Standort wegfallen würden, was gegebenenfalls zu Einbußen bei Wertschöpfung und Beschäftigung führen könnte. Nachgelagerte Prozessschritte wie die Herstellung von Düngemitteln blieben erhalten.

Ob die Produktion von grünem Wasserstoff vor Ort, der Import von grünem Wasserstoff oder der Import von grünem Ammoniak am sinnvollsten ist, hängt unter anderem von der Rohstoffverfügbarkeit, den Preisen sowie der vorhandenen Infrastruktur ab.

Produkte

Aktuell sind für den Standort Piesteritz keine konkreten Tendenzen bei der Umstellung des Produktportfolios zu erkennen. Der Schwerpunkt der Bemühungen liegt auf der Stabilisierung der Rohstoffbezugskosten. Aus strategischer Perspektive bestehen insbesondere für den AdBlue-Markt erhebliche langfristige Risiken durch die zu erwartende Transformation hin zur E-Mobilität (insbesondere im Bereich des Schwerlastverkehrs).

Dringlichkeit und Komplexität der Transformation

Die Transformation des Standorts Piesteritz weist eine hohe Dringlichkeit und eine niedrige bis moderate Komplexität auf. Die Zeitkritikalität ergibt sich aus der Abhängigkeit des Standorts von der Erdgasversorgung. Diese ist gekennzeichnet durch geopolitische

Abhängigkeiten (in der Vergangenheit von Russland, nun von Ländern des Nahen Ostens) sowie durch eine hohe Preisvolatilität. Die Vulnerabilität des Standorts im Bezug auf die Erdgasversorgung wurde im Zuge der Energiekrise 2022/2023 deutlich. Damals wurde die Ammoniakproduktion aufgrund hoher Erdgaspreise über Monate stillgelegt (MDR 2022). Im Gegensatz zur Dringlichkeit der Transformation ist die Komplexität allerdings eher niedrig bis moderat. Sie wird primär von der zukünftigen Ausgestaltung des Bezugs von Ammoniak und CO₂ beeinflusst. Falls die Ammoniaksynthese vor Ort durch den Import von Ammoniak ersetzt werden wird, muss die Wärmeversorgung neu aufgebaut und Versorgungsstrukturen für nachhaltiges CO₂ implementiert werden. Hierdurch würde sich die Transformationskomplexität erhöhen.

Erforderliche Rahmenbedingungen

Damit die Transformation am Standort Piesteritz gelingen kann und die Produktion wettbewerbsfähig bleibt, müssen geeignete Rahmenbedingungen geschaffen werden. Von zentraler Bedeutung ist dabei der Aufbau geeigneter Infrastrukturen, um den externen Bezug von Wasserstoff, Ammoniak und/oder CO₂ zu ermöglichen. Das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) schreibt den Netzbetreibern vor, ein deutschlandweites Wasserstoffkernnetz aufzubauen. In der aktuellen Bedarfsplanung wird der Standort Piesteritz nicht ans Kernnetz angeschlossen. Allerdings gibt es privatwirtschaftliche Initiativen, ein Wasserstoffverteilnetz in der Region Mitteldeutschland aufzubauen und darüber auch den Standort Piesteritz anzubinden (DBI und Infracon 2024). Entsprechende Finanzierungsinstrumente stehen über den KTF sowie geförderte KfW-Kredite zur Verfügung und sollten von den beteiligten Akteuren erkannt und genutzt werden. Bisherige Transport- und Importkapazitäten für Ammoniak müssten gegebenenfalls ausgebaut werden. Neben der Schaffung der benötigten Infrastruktur bedarf es auch effektiver Importstrategien (bspw. über die EU Hydrogen Bank, H2Global oder bilaterale Vereinbarungen).

Soll die Wasserstoffproduktion vor Ort erfolgen, braucht es genügend Erzeugungskapazitäten für Erneuerbare Energien. Damit der erzeugte Wasserstoff auch als „grün“ klassifiziert wird, müssen die von der EU-Kommission in RED-II definierten Kriterien eingehalten werden und entsprechende Herkunftsnachweise gepflegt werden. Die RED-II Kriterien schreiben insbesondere vor, dass der für Elektrolyse verwendete Strom entweder direkt aus einer EE-Erzeugungsanlage stammen muss oder bei Netzbezug zusätzliche EE-Kapazitäten geschaffen werden (FfE 2024).

Ein letzter wichtiger Punkt ist die Zertifizierung von Zwischen- und Endprodukten (THG-neutraler Ammoniak und emissionsfreie Düngemittel), um eventuell höhere Herstellungskosten ausgleichen zu können. Beispielsweise können zertifiziert nachhaltige Produkte im Rahmen der Etablierung grüner Leitmärkten von staatlichen Akteuren bevorzugt bezogen und finanziell gefördert werden. Weithin können gegebenenfalls bestehende höhere Zahlungsbereitschaften von Konsumentinnen und Konsumenten für nachhaltigere Produkte genutzt werden. Dafür sollte die Taxonomie zur Klassifizierung „grüner“ Zwischen- und Endprodukte auf europäischer und deutscher Ebene vorangetrieben und ausgebaut werden. In diesem Kontext ist der Aufbau verlässlicher Zertifizierungs- und Nachweisstrukturen unerlässlich.

4.5. Chemiapark Bitterfeld-Wolfen

4.5.1. Standortgegebenheiten

Der Chemiapark Bitterfeld-Wolfen ist einer der ältesten Chemiestandorte in Deutschland. Auf 1.200 Hektar Parkfläche produzieren ca. 300 Unternehmen eine Vielzahl an Produkten. Insbesondere die Chlorchemie ist für den Standort charakteristisch (vgl. Tabelle 5). Weiterhin spielt die Verarbeitung von Leichtmetallen und Kunststoffen eine wichtige Rolle. Die Energieversorgung mit Strom und Wärme erfolgt am Standort aus einer eigenen Müllverbrennungsanlage.

Steckbrief Bitterfeld-Wolfen

Wichtigste Produkte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chlorchemie ▪ Spezialchemie ▪ Lacke, Farben und Harze
Energieversorgung	Wärme und Strom aus eigener Müllverbrennungsanlage
Pipelines und Rohstoffversorgung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wasserstoff-Pipeline aus Leuna
Gleisanschluss	Ja
Hafen- oder Flusszugang	Nein
Fläche	1.200 Hektar
Anzahl Mitarbeitende	11.000

Tabelle 5: Steckbrief Bitterfeld-Wolfen; Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Unternehmensangaben

4.5.2. Standortperspektiven

Transformationsoptionen

Energiebereitstellung

Aus Sicht einer erfolgreichen Transformation hin zur Klimaneutralität ist am Standort Bitterfeld-Wolfen insbesondere die Umstellung der Energieversorgung relevant. Aktuell erfolgt die Bereitstellung von Strom und Wärme primär durch eine Müllverbrennungsanlage. Wie bereits in Abbildung 10 (in Kapitel 2.2) verdeutlicht, fallen bei der Verbrennung THG-Emissionen an. Die Integration einer Anlage zur Abscheidung von CO₂ aus den Verbrennungsabgasen, könnte diese Emissionen vermeiden. Das so abgeschiedene CO₂ wird komprimiert und anschließend für die Speicherung (CCS) oder Nutzung als Rohstoff (CCU) weitertransportiert (beispielsweise an andere Chemiestandorte, die das CO₂ verwerten können; siehe vorangegangenes Kapitel zum Standort Piesteritz). Bei der Integration von CCS- und CCU-Technologien in Müllverbrennungsanlagen bestehen allerdings drei Herausforderungen:

1. Infrastruktur: Die für den Transport des CO₂ benötigte Infrastruktur (bspw. Pipelines) ist noch nicht vorhanden
2. Einlagerung: Geeignete Speicherstätten sind noch nicht abschließend identifiziert und das regulatorische Umfeld für die Einlagerung von CO₂ ist dynamisch
3. Energieintensität: Der Prozess der CO₂-Abscheidung und -Kompression erfordert erhebliche Energiemengen, was die Energieeffizienz der Energieversorgungsanlage verringert

Rohstoffe und Prozesse

Anders als an den Standorten Leuna, Böhlen/Schkopau und Piesteritz sind die Rohstoffe am Standort Bitterfeld-Wolfen nicht vorrangig kohlenstoffbasiert und fossil. Der Fokus liegt auf der anorganischen Chlor- und Salzchemie. Dementsprechend besteht beim Rohstoffeinsatz kein direkter Defossilisierungsdruck. Dennoch fällt im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen CO₂ in verschiedenen thermischen, chemischen und biologischen Prozessen an (beispielsweise im Gas- und Dampfkraftwerk, in der Abwasserreinigung und in der Biomethananlage) (Fraunhofer IKTS 2021). Hierbei ergeben sich vielversprechende Synergiepotentiale mit der Umstellung der Energieversorgung und der Erschließung neuer Produktfelder. So könnte die Abfallentsorgungsanlage mit einer Möglichkeit zur Abscheidung des anfallenden CO₂ ausgestattet werden, um dieses anschließend für die Herstellung von grünem Methanol zu nutzen. Dieser Ansatz wurde am Standort bereits im Forschungsprojekt CarbonCycleMeOH untersucht (BMWK 2024a) und könnte zukünftig weiter skaliert werden.

Produkte

Im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen zeichnen sich aufgrund der bereits vorhandenen technischen Infrastruktur sowie bereits bestehender Ansiedlungsbemühungen zwei Tendenzen für die Erschließung neuer Produktfelder ab: 1) Herstellung von Batterien und deren Vorprodukten 2) Erzeugung von grünem Wasserstoff.

Produktfeld 1: Batteriechemie

Basierend auf laufenden Investitionsprojekte lassen sich erste Tendenzen zur Entwicklung des Standorts Bitterfeld zu einem Zentrum für Batteriechemie erkennen. Hierfür spricht insbesondere die Eröffnung einer Anlage zur Herstellung von Lithiumhydroxid im Sommer 2024. Aus Lithiumhydroxid kann in einem nachgelagerten Schritt Kathodenmaterial für die Batterieproduktion hergestellt werden. Nach anfänglich 20.000 Tonnen pro Jahr, soll die von AMG Lithium betriebene Anlage ihr Produktionsvolumen bis 2030 auf 100.000 Tonnen verfünffachen (VDI 2024). Weiterhin ist die Ansiedlung einer Batteriefabrik in Bitterfeld-Wolfen vom Land Sachsen-Anhalt gewünscht, allerdings werden hierfür noch Investoren gesucht. Außerdem bietet sich die Angliederung einer Anlage zum Recycling von Batterien an, um die Kreislaufführung der Materialien zu erleichtern (MDR 2023).

Produktfeld 2: Grüner Wasserstoff und Derivate

Auch im Bereich der Produktion von Wasserstoff und dessen Derivate (bspw. Ammoniak und Methanol) zeichnen sich Entwicklungspotentiale am Standort ab. So betreibt

Nobian seit 2021 am Standort Bitterfeld eine Anlage zur Chlor-Alkali-Membranelektrolyse für die Produktion von Grünem Wasserstoff (bis zu 2.700 Tonnen pro Jahr) (Nobian 2021). HyCC, ein Tochterunternehmen von Nobian, plant die Produktion von grünem Wasserstoff in Bitterfeld deutlich zu erhöhen. So will das Unternehmen dort, zusammen mit dem Leipziger Gasnetzbetreiber VNG, eine Elektrolyseanlage mit einer Leistung von 500 MW errichten (Mitteldeutsche Zeitung 2024). Im Juli 2024 befindet sich das Projekt allerdings noch in einer frühen Entwicklungsphase. Hohe Investitionskosten machen staatliche Förderungen notwendig. Außerdem ist noch unklar, woher die Elektrolyseanlage die benötigten Mengen erneuerbaren Strom beziehen soll.

Dringlichkeit und Komplexität der Transformation

Dringlich ist am Chemiestandort Bitterfeld-Wolfen vor allem die Vermeidung von THG-Emissionen bei der Energiebereitstellung. Die Emissionen können entweder durch die Umstellung der Energieversorgung oder durch das Nachrüsten der bestehenden Müllverbrennungsanlage mit einer CO₂-Abscheidungsanlage verringert werden. Im Gegensatz zur Dringlichkeit ist die Komplexität der Transformation niedrig bis moderat. Die Komplexität entsteht vor allem aus der Umstellung und Erweiterung des Produkt- und Prozessportfolios. Chancen ergeben sich hierbei vor allem bei der Erschließung neuer Produktfelder beispielsweise im Bereich Wasserstoff, grünes Methanol, Batteriechemie und Recyclingdienstleistungen.

Erforderliche Rahmenbedingungen

Damit die CO₂-Abscheidung sinnvoll an der bestehenden Müllverbrennungsanlage integriert werden kann, braucht es ein klares regulatorisches Umfeld für CCU und CCS. Aktuell wird von der EU-Kommission an einem Rahmen für die Zertifizierung von CO₂-Entnahmen gearbeitet. Das deutsche BMWK arbeitet parallel an einer Langfriststrategie für Negativemissionen und hat entsprechende Eckpunkte in der Carbon Management Strategie festgehalten. Weiterhin soll eine Änderung des Kohlendioxid-Speicherungs-gesetzes beschlossen werden, um so CCS in Deutschland im industriellen Maßstab zu ermöglichen (BMWK 2024f). Für die Etablierung und Skalierung der Batteriechemie am Standort Bitterfeld-Wolfen sind stabile Absatzmärkte notwendig. Dies betrifft insbesondere die Nachfrage nach E-Autos. Weiterhin ist die Verbesserung der Kreislauf- und Recyclingfähigkeit von Batterien ausschlaggebend, um den Ressourceneinsatz zu verbessern. Wichtige Weichenstellung bietet hierfür die EU-Ökodesignrichtlinie sowie das deutsche Kreislaufwirtschaftsgesetz. Weiterhin kann die Dokumentation der Produkt- und Recyclingeigenschaften (beispielsweise in einem Battery Passport) zur Etablierung ganzheitlicher Wertschöpfungsketten beitragen.

4.6. Chemiepark Zeitz

4.6.1. Standortgegebenheiten

Der Chemiepark Zeitz gehört mit etwa 1.000 Mitarbeitenden und einer Fläche von 232 Hektar zu den kleineren Standorten in der Region. Die Produktion konzentriert sich hier hauptsächlich auf organische Grundstoffe, Schmierstoffe sowie Spezialchemikalien wie Wachsprodukte und Klebstoffe (vgl.

Tabelle 6). Zudem spielt die Verwertung von Biomasse und die Erzeugung von Biogas eine zentrale Rolle. Der Chemiepark setzt auf nachhaltige Chemie, und der Betreiber InfraZeit ist Mitglied im BioEconomy Cluster, einem Interessenverband für Bioökonomie (InfraZeit 2024).

Steckbrief Zeitz

Wichtigste Produkte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Organische Grundstoffe ▪ Biobasierte Kraftstoffe ▪ Spezialchemie
Energieversorgung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abfallverbrennung
Pipelines und Rohstoffversorgung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wasserstoff aus Leuna ▪ Anschluss an das überregionale Erdgasnetz
Gleisanschluss	Ja
Hafen- oder Flusszugang	Nein
Fläche	232 Hektar
Anzahl Mitarbeitende	1.000

Tabelle 6: Steckbrief Zeitz; Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Unternehmensangaben.

Bedeutende Unternehmen am Standort sind unter anderem Radici Chimica, das Adipinsäure, Cyclohexanol und Salpetersäure produziert, sowie CropEnergies, das Ethanol und biobasiertes CO₂ herstellt (IMG Sachsen-Anhalt 2022). Wichtige Rohstoffe sind biogen, wie beispielsweise Getreide (Mais, Weizen und Gerste) sowie Zwischenprodukte aus der Zucker- und Stärkeproduktion. Zusätzlich werden Wasserstoff und chemische Vorprodukte aus Leuna bezogen. Die Wärmeversorgung erfolgt derzeit über eine Abfallverbrennungsanlage, während der Strom aus dem Netz bezogen wird. Zudem besteht eine Anbindung an das überregionale Erdgasnetz (IMG Sachsen-Anhalt 2022).

4.6.2. Standortperspektiven

Transformationsoptionen

Energiebereitstellung

Ein zentraler Ansatz zur Defossilisierung des Standorts Zeitz ist die vollständige Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien. Der Betreiber des Chemieparks

(InfraZeit) hat sich das Ziel gesetzt, bis 2030 eine klimaneutrale und autarke Energieversorgung aufzubauen. Um dies zu verwirklichen, sollen ab 2024 Photovoltaikanlagen auf den Dächern der InfraZeit-Gebäude installiert werden. Zudem ist geplant, die Geothermie im Park zu erschließen und die Abwärme aus der Abfallverbrennung effizient zu nutzen. Darüber hinaus sollen laut Betreiberangaben Energiespeicher installiert werden, um eine zuverlässige Stromversorgung zu gewährleisten (InfraZeit 2024). Welche Speicherformen konkret angedacht sind, ist aktuell noch nicht bekannt. Zum Ausgleich kurzfristiger Fluktuationen böten sich Batteriespeicher an. Für die Überbrückung jahreszeitlicher Schwankungen, wären Power-to-X Lösungen sinnvoll. Dies umfasst beispielsweise die Nutzung von überschüssigem Strom für die Produktion von Wasserstoff mittels Elektrolyse.

Rohstoffe und Prozesse

Die Rohstoffbasis des Standorts ist bereits stark auf biogene Ressourcen (insbesondere landwirtschaftliche Rohstoffe) fokussiert. Dem entsprechend besteht bei den Rohstoffen und Prozessen am Standort Zeit ein vergleichsweise geringer Defossilisierungsdruck. Dafür lassen sich Tendenzen erkennen, die Fokussierung auf biogene Ressourcen weiter zu verstärken. So investiert beispielsweise das Unternehmen CropEnergies seit 2023 200 Millionen Euro am Standort Zeit, davon allein 130 Millionen Euro für den Bau einer neuen Anlage zur Herstellung von Biochemikalien. Ziel ist es, ab 2025 jährlich 50.000 Tonnen Ethylacetat aus erneuerbarem Ethanol zu produzieren (CropEnergies AG 2024). Ethylacetat wird in zahlreichen Industrien verwendet, insbesondere bei der Herstellung von Beschichtungen, Farben, Klebstoffen, Verpackungen sowie in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie.

Neben Ethylacetat wird in der Anlage ebenfalls biogener Wasserstoff als Koppelprodukt erzeugt (CropEnergies AG 2024). Dieser könnte als Substitut für fossil-basierten Wasserstoff dienen, welcher aktuell per Pipeline aus Leuna bezogen wird, wo er in der Raffinerie als Nebenprodukt anfällt. Falls der in der Ethylacetatanlage erzeugte Wasserstoff mengenmäßig nicht ausreicht, müssen weitere Alternativen zum Bezug von grauem Wasserstoff gefunden werden. Möglicherweise ergibt sich zukünftig die Option grünen Wasserstoff aus Leuna zu beziehen. Dies ist abhängig von den Transformationsperspektiven am Standort Leuna (vgl. vorangegangenes Kapitel). Falls am Standort ausreichende Mengen Erneuerbare Energien zur Verfügung stehen, bietet sich auch der Aufbau eigener Elektrolysekapazitäten an. Hierbei können sich Synergiepotentiale mit der Energieversorgung ergeben, indem Wasserstoff auch als Energiespeicher genutzt wird.

Produkte

In Zukunft könnten am Standort neue Produktionsfelder und Geschäftsmodelle im Bereich der Bioökonomie erschlossen werden. Ein Beispiel dafür ist das Forschungsprojekt "PülpeGas", das vom Deutschen Biomasseforschungszentrum (DBFZ) initiiert wurde. Dieses Projekt entwickelt eine Pilotanlage zur Erzeugung von "grünem" Erdgas, basierend auf Reststoffen aus der Weizenstärkeproduktion. Die Anlage soll eine Kapazität von bis zu 60 GWh Biogas pro Jahr erreichen (DBFZ 2023).

Dringlichkeit und Komplexität der Transformation

Die bereits bestehende nachhaltige Ausrichtung des Parks bietet eine solide Grundlage für zukünftige Entwicklungen, sodass derzeit ein vergleichsweise geringer Transformationsdruck besteht. Gleichzeitig eröffnen sich Chancen bei der Erschließung neuer Produktgruppen, die Wachstum und Innovationskraft am Standort befördern können. Die Komplexität der anstehenden Veränderungen wird als gering bis moderat eingeschätzt, wobei der Schwerpunkt auf der Etablierung stabiler und verlässlicher Versorgungsketten für die benötigten landwirtschaftlichen Rohstoffe (insbesondere Weizen, Mais und Zuckerrüben) liegt. Diese sind insbesondere für die Skalierung neuer Prozesse, wie die Herstellung von Ethylacetat und die Biogasproduktion, von entscheidender Bedeutung.

Erforderliche Rahmenbedingungen

Wichtige Rahmenbedingungen für das Gelingen der Transformation werden durch die Bioökonomiestrategie der Bundesregierung festgelegt, welche als Leitlinie für die Transformation hin zu einer biobasierten, nachhaltigen Wirtschaft dient. Die Strategie legt zudem den Rahmen für den Bezug biogener Rohstoffe fest, um eine nachhaltige und umweltfreundliche Beschaffung zu gewährleisten. Am Standort Zeitz werden vor allem Getreidesorten wie Mais, Weizen und Gerste sowie Zwischenprodukte aus der Zucker- und Stärkeproduktion genutzt. Aufgrund der ländlichen Lage bietet sich hier große Flächenpotenziale für den Anbau der benötigten landwirtschaftlichen Rohstoffe. Dennoch ist Zeitz mit etwa 1.000 Mitarbeitenden ein vergleichsweise kleiner Standort, weshalb Innovationsprozesse auf die gezielte Vernetzung der ansässigen Unternehmen mit Start-ups, Forschungseinrichtungen und Skalierungsplattformen angewiesen sind. Branchennetzwerke wie das BioEconomy Cluster, in dem der Betreiber InfraZeitz Mitglied ist, spielen hierbei eine wichtige Rolle, da sie den Austausch von Wissen und Ressourcen fördern. Darüber hinaus ist der Chemiepark Zeitz, wie auch die anderen betrachteten Chemieparke, auf den Ausbau erneuerbarer Energien sowie die Etablierung von Bezugs- und Erzeugungskapazitäten für grünen Wasserstoff angewiesen, um eine nachhaltige Energieversorgung sicherzustellen.

5. Fazit

In dieser Studie wurden Perspektiven für eine klimaneutrale Zukunft der ostdeutschen Chemieindustrie aufgezeigt. Dafür wurden standortspezifische Transformationskonzepte für die Chemieparks in Leuna, Böhlen/Schkopau, Piesteritz, Bitterfeld-Wolfen und Zeitz erarbeitet. Gemeinsam bilden diese Standorte das ostdeutsche Chemiecluster, zu dessen wichtigsten Erzeugnissen chemische Grundstoffe und Plattformchemikalien wie Ammoniak, Ethylen, Propylen, Methanol, Styrol sowie Endprodukte wie Synthetikautschuk, Kunststoffe und Düngemittel gehören. Im Cluster sind circa 35.200 Mitarbeitende beschäftigt und die jährliche Produktionskapazität beträgt etwa 8,7 Millionen Tonnen, was rund 16 % der deutschen Chemieproduktion entspricht. Im Vergleich zu anderen Regionen Deutschlands ist die ostdeutsche Chemieindustrie vor allem durch kleine und mittelständische Unternehmen geprägt. Zentrale Unternehmensbereiche der chemischen Großindustrie im Management und der Forschung finden sich kaum in der Region.

Die größte Herausforderung bei der Defossilisierung liegt in der Umstellung der Rohstoff- und Energieversorgung. Während derzeit noch ein Großteil der benötigten Energie aus fossilen Quellen stammt, ist in Zukunft eine umfassende Nutzung erneuerbarer Energien unabdingbar. Die Integration von grünem Wasserstoff, der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit nachhaltigen Brennstoffen und die Entwicklung von Energiespeicherlösungen sind dabei essenziell. Ebenso wichtig ist die Umstellung auf nachhaltige Rohstoffe und Prozesse. Die Studie zeigt, dass die Verwendung von biogenem Kohlenstoff, die Nutzung von CO₂ aus industriellen Abgasen oder der Atmosphäre sowie das Recycling von Kohlenstoff wichtige Strategien sind, um die Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen zu reduzieren.

Neben den Herausforderungen birgt die Transformation auch erhebliche Chancen. Die Erschließung neuer Produktfelder, wie die Batteriechemie, die Entwicklung biobasierter Polymere und der verstärkte Einsatz von Recyclingverfahren, bietet der ostdeutschen Chemieindustrie die Möglichkeit, ihre Wettbewerbsfähigkeit zu steigern und eine Vorreiterrolle im Bereich der nachhaltigen Chemieproduktion einzunehmen.

Für das Gelingen der Transformation der chemischen Industrie in Ostdeutschland gibt es zentrale politische Anknüpfungspunkte. So ist der Ausbau erneuerbarer Energien, insbesondere Wind- und Solarenergie, notwendig, um die Chemieparks mit CO₂-neutralem Strom zu versorgen. Außerdem sind Wasserstoff und seine Derivate essenziell für die Defossilisierung und erfordern eine entsprechende Infrastruktur. Zusätzlich müssen robuste Versorgungsketten für alternative Kohlenstoffquellen aufgebaut werden. Weiterhin ist ein klares regulatorisches Umfeld für CO₂-Abscheidung, -Nutzung und -Speicherung erforderlich. Großvolumige Förderung von Investitionen und gezielte Forschungs- und Entwicklungsunterstützung für den Mittelstand sind unerlässlich, um den Übergang zu nachhaltigen Technologien zu ermöglichen und so die Wettbewerbsfähigkeit der Region zu sichern.

Annex

Annex

Standort	Landkreis	Beschäftigte	Gemeinde	Beschäftigte
Zeitz	Burgenlandkreis	62.012	Zeitz, Stadt	9.236
Leuna	Saalekreis	70.272	Leuna, Stadt	11.568
Schkopau	Saalekreis	70.272	Schkopau	5.284
Böhlen	Leipzig	79.699	Böhlen, Stadt	2.397
Bitterfeld-Wolfen	Anhalt-Bitterfeld	56.589	Bitterfeld-Wolfen, Stadt	20.564
Piesteritz	Wittenberg	34.733	Lutherstadt Wit- tenberg	21.876
Spremberg	Spree-Neiße	35.684	Spremberg, Stadt	11.365
Schwarzheide	Oberspreewald- Lausitz	40.524	Schwarzheide, Stadt	4.792

Tabelle 7: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte im Jahr 2022 nach ausgewählten Landkreisen und Gemeinden; Quelle: Bundesagentur für Arbeit

Literaturverzeichnis

Agora Energiewende (2021): Photovoltaik- und Windflächenrechner. Online verfügbar unter <https://www.agora-energiewende.de/daten-tools/photovoltaik-und-windflaechenrechner>.

Agora Industrie; Future Camp (2022): Power-2-Heat: Erdgaseinsparung und Klimaschutz in der Industrie.

Agora Industrie; Systemiq (2023): Resilienter Klimaschutz durch eine zirkuläre Wirtschaft: Perspektiven und Potenziale für energie-intensive Grundstoffindustrien.

Bähr, Cornelius; Bothe, David; Brändle, Gregor; Klink, Hilmar; Lichtblau, Karl; Sonnen, Lino; Zink, Benita (2023): Die Zukunft energieintensiver Industrien in Deutschland. Eine Studie von IW Consult und Frontier Economics im Auftrag des Dezernat Zukunft.

BASF; RWE (2021): BASF und RWE wollen bei neuen Technologien für Klimaschutz kooperieren. Gemeinsame Presse-Information. Online verfügbar unter <https://www.basf.com/global/de/media/news-releases/2021/05/p-21-217.html>, zuletzt geprüft am 22.03.2022.

BASF Schwarzheide GmbH (Hg.) (2023): Standortporträt 2023. BASF Schwarzheide GmbH. Online verfügbar unter <https://www.basf.com/global/de/who-we-are/organization/locations/europe/german-sites/Schwarzheide/about-the-site.html>, zuletzt geprüft am 22.05.2023.

BMWK (2024a): CarbonCycleMeOH. Abgase als Rohstoff nutzen. Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Wasserstoff/Praxisbeispiele/CarbonCycle-MeOH.html>, zuletzt aktualisiert am 2024, zuletzt geprüft am 10.07.2024.

BMWK (2024b): Importstrategie für Wasserstoff und Wasserstoffderivate.

BMWK (2024c): Leitmärkte für klimafreundliche Grundstoffe. Konzept des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

BMWK (2024d): Ökodesign-Verordnung und grüne Leitmärkte – Nachhaltige Produkte werden in der EU zur Norm.

BMWK (2024e): Richtlinie zur Förderung von klimaneutralen Produktionsverfahren in der Industrie durch Klimaschutzverträge.

BMWK (2024f): Eckpunkte der Bundesregierung für eine Carbon Management-Strategie.

Chemiepark Bitterfeld-Wolfen GmbH (Hg.): Der Chemiepark. Daten und Fakten. Online verfügbar unter <https://www.chemiepark.de/der-chemiepark/daten-und-fakten>, zuletzt geprüft am 22.05.2024.

Cloete, Schalk; Hirth, Lion (2020): Flexible power and hydrogen production: Finding synergy between CCS and variable renewables. In: *Energy* 192, S. 116671. DOI: 10.1016/j.energy.2019.116671.

CropEnergies AG (2024): CropEnergies Bioethanol GmbH, Zeitz. Die effizienteste Ethanolanlage Europas. Online verfügbar unter <https://www.cropenergies.com/de/unternehmen/standorte/zeitz>.

DBFZ (2023): Verbundprojekt: „PülpeGas“ entwickelt Pilotanlage zur Vollverwertung von Weizenpülpe am Chemie- und Industriepark Zeitz. Online verfügbar unter <https://www.dbfz.de/pressemediathek/presse/pressemitteilungen-2023/verbundprojekt-puelpegas-entwickelt-pilotanlage-zur-vollverwertung-von-weizenpuelpe-am-chemie-und-industriepark-zeitz>.

DBI; Infracon (2024): Wasserstoffnetz Mitteldeutschland 2.0 - Machbarkeitsstudie.

Dena (2023): Das dezentralisierte Energiesystem im Jahr 2030. Ein systemischer Bottom-up-Ansatz zur Marktintegration dezentraler Verbrauchers und Erzeugungseinheiten.

Deutscher Bundestag (2019): Federal Climate Change Act. KSG-2019.

Devlin, Alexandra; Kossen, Jannik; Goldie-Jones, Haulwen; Yang, Aidong (2023): Global green hydrogen-based steel opportunities surrounding high quality renewable energy and iron ore deposits. In: *Nature communications* 14 (1), S. 2578. DOI: 10.1038/s41467-023-38123-2.

Dow Chemical (2022): Dow und Mura Technology planen Bau Europas größter Anlage für chemisches Recycling am sächsischen Dow-Standort in Böhlen. Online verfügbar unter <https://de.dow.com/de-de/presse/pressemeldungen/dow-und-mura-technology-planen-bau-europas-groebter-anlage-fur-chemisches-recycling.html>.

EEX (2022): Häufig gestellte Fragen zum nEHS (nEHS-FAQ).

Europäische Kommission (2021): Emissions cap and allowances. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/emissions-cap-and-allowances_en, zuletzt geprüft am 28.12.2021.

Europäische Union (2003): Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates.

European Commission (2024): Questions and Answers on the EU Industrial Carbon Management Strategy.

FAZ (2024): Der Chemiestandort Leuna will trotz Energiekrise expandieren. Unter Mitarbeit von Stefan Paravicini.

FfE (2024): Wie ist grüner Wasserstoff laut dem Delegated Act der EU definiert? Online verfügbar unter <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/wie-ist-gruener-wasserstoff-laut-dem-delegated-act-der-eu-definiert/>.

Fraunhofer IKTS (2021): Strategien für den klimaneutralen Chemiepark. Online verfügbar unter https://www.ikts.fraunhofer.de/de/presse/pressemitteilungen/2021_4_28_n_strategien_klimaneutraler_chemiepark.html, zuletzt aktualisiert am 28.04.2021, zuletzt geprüft am 10.07.2024.

Fraunhofer ISI (2024): CO₂-neutral process heat using electrification and hydrogen. Policy Brief.

Grimm, Veronika (2023): Developing a global Hydrogen Market. Presentation Slides. Markus' Academy. Princeton University, 14.07.2023.

IMG Sachsen-Anhalt (2022): Factsheet Chemieindustrie. Online verfügbar unter https://www.investieren-in-sachsen-anhalt.de/fileadmin/SOM/SOM_Uebergreifend/Printprodukte/Printprodukte_IMG/Chemie_Kunststoff/Fact_Sheet_Chemie_DE.pdf.

InfraLeuna (2021): Infrastruktur. Online verfügbar unter <https://www.infraleuna.de/standort-leuna/infrastruktur>, zuletzt geprüft am 01.07.2024.

InfraLeuna GmbH (Hg.): Standort Leuna. Daten und Fakten. Online verfügbar unter <https://www.infraleuna.de/standort-leuna/daten-und-fakten>, zuletzt geprüft am 22.05.2024.

InfraZeit (2024): Die Zukunft des Chemie- & Industrieparks Zeit. Online verfügbar unter https://www.industriepark-zeit.de/wp-content/uploads/2024/05/CIPZ-Pr%C3%A4sj_Website.pdf.

Infra-Zeit Servicegesellschaft mbH (Hg.): Chemiepark. Eckdaten. Chemie- und Industriepark Zeit. Online verfügbar unter <https://www.industriepark-zeit.de/chemiepark/eckdaten/>, zuletzt geprüft am 22.05.2024.

Kraftanlagen (2021): Zukunftssicheres Energiesystem für den Chemiestandort Leuna. Online verfügbar unter <https://www.kraftanlagen.com/zukunftssicheres-energiesystem-fuer-den-chemiestandort-leuna/>, zuletzt geprüft am 17.07.2024.

Layritz, Lucia S.; Dolganova, Iulia; Finkbeiner, Matthias; Luderer, Gunnar; Penteadó, Alberto T.; Ueckerdt, Falko; Repke, Jens-Uwe (2021): The potential of direct steam cracker electrification and carbon capture & utilization via oxidative coupling of methane as decarbonization strategies for ethylene production. In: *Applied Energy* 296, S. 117049. DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.117049.

LEAG (2023): Geschäftsfeld Kraftwerke. Online verfügbar unter <https://www.leag.de/de/geschaeftsfelder/kraftwerke/>.

Li, Tianyue; Long, Jian; Du, Wenli; Qian, Feng; Mahalec, Vladimir (2023): Three pathways towards elimination of CO₂ emissions from industrial plants that use hydrocarbon fuels. In: *Journal of Cleaner Production* 391, S. 136159. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136159.

MDR (2022): SKW Piesteritz hofft auf Hilfen vom Bund. Online verfügbar unter <https://www.mdr.de/nachrichten/sachsen-anhalt/dessau/wittenberg/energie-gas-preise-hilfe-skw-piesteritz-102.html>.

MDR (2023): Chemieregion setzt weiter auf Neubau einer Batteriefabrik, zuletzt aktualisiert am 31.03.2023, zuletzt geprüft am 10.07.2024.

Meijering, Jasper (2022): Recarbonizing the chemical industry. Hg. v. CIEP (CIEP Paper, 02/2022).

Mitteldeutsche Zeitung (2024): VNG will riesige Wasserstoff-Anlage bauen: Standort Bitterfeld-Wolfen? Online verfügbar unter <https://www.mz.de/mitteldeutschland/wirtschaft/vng-will-riesige-wasserstoff-anlage-bauen-standort-bitterfeld-wolfen-3826639>, zuletzt aktualisiert am 16.04.2024, zuletzt geprüft am 10.07.2024.

Nobian (2021): Nobian liefert als erstes Unternehmen in Deutschland grünen Wasserstoff aus Chlor-Alkali-Elektrolyse. Online verfügbar unter <https://www.nobian.com/de/aktuelles/nobian-liefert-als-erstes-unternehmen-in-deutschland-grunen-wasserstoff-aus-chlor-alkali-elektrolyse>, zuletzt aktualisiert am 02.12.2021, zuletzt geprüft am 10.07.2024.

Rootzén, Johan; Nyberg, Theo; Karltorp, Kersti; Åhman, Max (2023): Turning the tanker? Exploring the preconditions for change in the global petrochemical industry. In: *Energy Research & Social Science* 104, S. 103256. DOI: 10.1016/j.erss.2023.103256.

Saale Energie (2024): Kraftwerk Schkopau. Online verfügbar unter <https://www.saale-energie.de/kraftwerk-schkopau/>.

Schiffer, Zachary J.; Manthiram, Karthish (2017): Electrification and Decarbonization of the Chemical Industry. In: *Joule* 1 (1), S. 10–14. DOI: 10.1016/j.joule.2017.07.008.

SCI4climate.NRW (2023): Treibhausgasneutralität in Deutschland bis 2045. Ein Szenario aus dem Projekt SCI4climate.NRW.

Sitarz, Joanna; Pahle, Michael; Osorio, Sebastian; Luderer, Gunnar; Pietzcker, Robert (2024): EU carbon prices signal high policy credibility and farsighted actors. In: *Nat Energy*. DOI: 10.1038/s41560-024-01505-x.

STEAG (2023): Raffinerie-Kraftwerk Leuna. Online verfügbar unter <https://www.steag.com/de/steag-power/kraftwerke-in-deutschland/raffinerie-kraftwerk-leuna>, zuletzt geprüft am 17.07.2024.

Total Energies (2024): Total Energies Raffinerie Mitteldeutschland in Leuna. Online verfügbar unter <https://totalenergies.de/ueber-uns/standorte/raffinerie-leuna>, zuletzt geprüft am 01.07.2024.

Umweltbundesamt (2022): Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2021. Unter Mitarbeit von Petra Icha und Thomas Lauf (Climate Change, 15/2022).

UPM (2024): Bioraffinerie Leuna. Online verfügbar unter <https://www.upmbiochemicals.com/de/uber-upm-biochemicals/bioraffinerie-leuna/>, zuletzt geprüft am 18.07.2024.

VCI (2023): Chemistry4Climate. Wie die Transformation der Chemie gelingen kann.

VDI (2024): Batterietaugliches Lithium aus Bitterfeld. Online verfügbar unter <https://www.vdi-nachrichten.com/wirtschaft/rohstoffe/batterietaugliches-lithium-aus-bitterfeld/>, zuletzt aktualisiert am 29.04.2024, zuletzt geprüft am 10.07.2024.

Vogt, Eelco T. C.; Weckhuysen, Bert M. (2024): The refinery of the future. In: *Nature* 629 (8011), S. 295–306. DOI: 10.1038/s41586-024-07322-2.

Ylva Kloo, Alexander Scholz, Svenja Theisen (2023): Wege zur einer Netto-Null-Chemie-industrie.

Yu, Sen; Fan, Yi; Shi, Zhengrong; Li, Jing; Zhao, Xudong; Zhang, Tao; Chang, Zixuan (2023): Hydrogen-based combined heat and power systems: A review of technologies and challenges. In: *International Journal of Hydrogen Energy* 48 (89), S. 34906–34929. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.05.187.

Kontakt

**Fraunhofer-Institut für Keramische
Technologien und Systeme IKTS**

Technologieökonomik und
Nachhaltigkeitsanalyse

Lisa Plümer

Telefon +49 345 131886-136
lisa.pluemer@ikts.fraunhofer.de

Leipziger Straße 70/71
06108 Halle (Saale)

www.ikts.fraunhofer.de