

Chemie-Roadmap 2045

Zwischen Zielbild und Realität

Abstract

Die Transformation der Chemieindustrie hin zur Klimaneutralität ist eine zentrale Voraussetzung für das Erreichen der deutschen und europäischen Klimaziele sowie für den Erhalt von Arbeitsplätzen und Wertschöpfung am Industriestandort Deutschland. Die „Chemie-Roadmap 2045“ zeigt Wege auf, wie die Branche klimaneutral werden und zugleich ihre Wettbewerbsfähigkeit absichern kann. Als Schlüsselindustrie muss sie ihre eigene Produktion defossilisieren und gleichzeitig nachhaltige Lösungen für andere Sektoren bereitstellen. Gelingen kann dies nur mit einem fein austarierten Maßnahmenpaket, um die wirtschaftliche und damit einhergehend gesellschaftliche Resilienz in Deutschland zu gewährleisten. Zentrales Element der Transformation ist der Aufbau einer erneuerbaren Kohlenstoffwirtschaft auf Basis von nachhaltiger Biomasse, Recycling und CO_2-Nutzung. Gleichzeitig bestehen wirtschaftliche Herausforderungen durch hohe Kosten und unzureichende Marktanreize. Die Roadmap betont die Notwendigkeit klarer politischer Rahmenbedingungen. Nur durch ein koordiniertes Zusammenspiel von Industrie, Politik und Gesellschaft kann der Übergang gelingen und langfristig Innovation, Wertschöpfung sowie Klima- und Biodiversitätsschutz miteinander verbinden.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 5

1 Rückblick und Einordnung 6

2 Zielbild 2045 8

3 Aktuelle Herausforderungen und Problemstellungen 10

4 Eine resiliente Chemieindustrie für eine resiliente Gesellschaft 12

5 Eine erneuerbare Kohlenstoffwirtschaft 18

Biomasse 19

Recycling 23

Carbon Capture and Utilisation 25

Schlüsselmaßnahmen für den Hochlauf erneuerbarer Kohlenstoffquellen 27

6 Politische Empfehlungen für eine zukunftsfähige Chemie 2045 30

7 Schlussbemerkungen und Ausblick 32

Danksagung 35

Quellenverzeichnis 36

Glossar 37

Impressum 38



Vorwort

Der Weg zur Klimaneutralität bis 2045 ist eine der größten Transformationen unserer Zeit – und die Chemieindustrie steht dabei im Zentrum. Als Branche, die nahezu alle Wertschöpfungsketten berührt, trägt sie eine besondere Verantwortung: Sie muss ihre Emissionen deutlich senken und zugleich Lösungen hervorbringen, die anderen Sektoren den Wandel ermöglichen. Der NABU sieht diese Transformation aber auch als Einladung, Naturschutz und Industriepolitik neu zusammenzudenken.

Denn die Klimakrise setzt unseren ohnehin geschwächten Ökosystemen weiter zu. Wälder, Moore, Flüsse und Meere verlieren ihre Fähigkeit, Kohlenstoff zu speichern, Arten zu beherbergen und Ressourcen zu erneuern. Daher sind der Schutz unserer natürlichen Lebensgrundlagen und die klimaneutrale Ausrichtung der Industrie zwei Seiten derselben Medaille. Eine naturverträgliche Chemieindustrie liefert Materialien, die wir für erneuerbare Energien, Speichertechnologien oder die Kreislaufwirtschaft dringend brauchen. Sie liefert Innovationen, um Ressourcen effizienter zu nutzen und unseren ökologischen Fußabdruck zu verringern. So entsteht das Fundament einer resilienten, lebenswerten Zukunft.

Ein wichtiger Baustein dabei ist die nachhaltige Nutzung von Biomasse. Sie kann fossile Rohstoffe ersetzen – sofern sie nicht auf Kosten von Böden, Wäldern oder Artenvielfalt gewonnen wird, sondern klaren Nachhaltigkeitskriterien folgt.

Auch das Recycling kann einen wichtigen Beitrag leisten, um Materialien, die heute im Abfall enden, wieder in hochwertige Stoffkreisläufe zurückzuführen. Wo mechanische Verfahren an ihre Grenzen stoßen, kann chemisches Recycling neue Möglichkeiten für echte Kreislaufschließung eröffnen – allerdings nur dann, wenn es unterm Strich Energie spart, Emissionen senkt und nicht neue Umweltrisiken schafft.

Doch Transformation gelingt nur, wenn sie ganzheitlich gedacht wird. Klimaneutralität muss Hand in Hand gehen mit dem Schutz von Biodiversität und dem sparsamen Umgang mit Wasser und anderen Ressourcen.

Dieser Bericht zeigt, dass der Pfad zur klimaneutralen Chemieindustrie machbar ist, technologisch, wirtschaftlich und gesellschaftlich. Es braucht aber auch gemeinsame Anstrengungen, klare politische Rahmenbedingungen und den Mut, neue Wege zu gehen.

Als Umweltverband begleiten wir diesen Prozess konstruktiv und kritisch. Unser Ziel ist eine Chemieindustrie, die Teil der Lösung ist – für das Klima, für die Natur und für eine lebenswerte Welt im Jahr 2045 und darüber hinaus.

Dr. Ingo Ammermann

Bundesgeschäftsführer
NABU (Naturschutzbund Deutschland) e.V.



Dr. Ingo Ammermann
Bundesgeschäftsführer NABU
(Naturschutzbund Deutschland) e.V.



1 Rückblick und Einordnung

Die Chemieindustrie in Deutschland steht vor herausfordernden Zeiten. Hohe Energiekosten, eine schwache Nachfrage aus Schlüsselindustrien, globale Überkapazitäten und Importdruck durch Billigware aus China sowie geopolitische Unsicherheiten sorgen für eine niedrige Produktionsauslastung, rückläufige Umsätze und den Verlust von Arbeitsplätzen. Diese Krise macht es der Chemieindustrie schwer, in klimaneutrale Technologien zu investieren. Obwohl die Branche weitgehend technologisch bereit ist, fehlen Kapital, Planungssicherheit und Wettbewerbsfähigkeit, um große Transformationsschritte am Standort Deutschland zu gehen. Gleichzeitig macht die chemische Grundstoffindustrie knapp 24 Prozent[1] der gesamten deutschen CO_2-Emissionen in der Industrie aus und steht damit klar in der Verantwortung, ihren Beitrag zum Erreichen der deutschen Klimaziele zu leisten.

Vor diesem Hintergrund hat der NABU sich in Zusammenarbeit mit anderen Umweltverbänden, Thinktanks und Gewerkschaften sowie mit Input aus der Industrie mit der Frage beschäftigt:

> Wie kann die chemische Industrie in Deutschland erhalten und dabei konsequent auf ihrem Transformationspfad zur Klimaneutralität begleitet werden?

Getragen wurde diese Analyse von der Überzeugung, dass die Transformation der Chemieindustrie nicht nur zwischen Vertreter*innen von Politik und Industrie auszutarieren ist. Die Zivilgesellschaft bringt sich ein, wo gesellschaftliche Interessen berührt sind, wie es etwa bei Infrastrukturausbau oder Flächennutzung der Fall ist. Darüber hinaus führt die Transformation zu einem strukturellen Wandel, der tiefgreifende gesellschaftliche Auswirkungen haben wird und die politische Polarisierung in betroffenen Regionen weiter verstärkt. Daher stärkt es die Chemieindustrie in Deutschland, wenn die Transformation von einem möglichst breiten Bündnis unter Einbeziehung von Wissenschaft, Gewerkschaften und Zivilgesellschaft getragen wird.

Aus diesem Grund beschäftigt sich die vorliegende Roadmap mit zwei Fokusthemen, die aus Sicht der beteiligten Akteur*innen

erhebliches gesellschaftliches Konfliktpotenzial enthalten: dem Erhalt der wirtschaftlichen Resilienz sowie dem weiteren Erschließen nachhaltiger Kohlenstoffquellen wie nachhaltiger Biomasse und (chemischem) Recycling.

Grundlage der Erarbeitung der vorliegenden Transformationspfade sind verschiedene Vorarbeiten zur Formulierung einer positiven Vision für eine klimaneutrale (Chemie-)Industrie in Deutschland im Jahr 2045 (s. → Kapitel 2), insbesondere die Studie „Klimaneutrale Industrie im Jahr 2045 – Zielbild, zentrale Voraussetzungen und gesellschaftliche Implikationen“ des Wuppertal Instituts (2025). Hiervon ausgehend wurde in einem ersten Workshop mit Vertreter*innen aus Wissenschaft, Gewerkschaften und Zivilgesellschaft ein gemeinsames Grundverständnis der grundlegenden Problemstellungen für die Transformation der Chemieindustrie zur Klimaneutralität erarbeitet (s. → Kapitel 3) und hierauf aufbauend die beiden Fokusthemen erschlossen.

Für diese Fokusthemen wurden im Anschluss Konfliktlinien herausgearbeitet und durch eine Reihe weiterer Workshops mit Wissenschaft, Gewerkschaften und Zivilgesellschaft sowie Einzelinterviews mit Vertreter*innen der Industrie Vorstellungen für den jeweiligen Zielzustand im Jahr 2045 formuliert. Um diese Zielzustände zu erreichen, wurden im Folgenden detaillierte Pfade abgesteckt, die Maßnahmen, notwendige Meilensteine und zu erwartende Hürden auf einem konkreten Zeitstrahl abbilden (s. → Kapitel 4 und → Kapitel 5).

Aus den so entstandenen Transformationspfaden wurden abschließend politische Empfehlungen abgeleitet, um die gemeinsam identifizierten Meilensteine zu erreichen und die Hürden auf dem Weg zu einer klimaneutralen Chemieindustrie 2045 zu bewältigen (s. → Kapitel 6).

Damit lässt sich nun nachvollziehen, welche Grundannahmen, Zielstellung und umfänglichen Beteiligungsformate die folgenden Kapitel prägen und wie daraus die konkreten Transformationspfade entwickelt wurden.



Transformation der Chemieindustrie: Priorität für die Politik von heute

Die Transformation der Chemieindustrie ist eines der drängendsten Themen der aktuellen Industriepolitik, weil sich zentrale Zeitfenster zügig schließen.

Investitionszyklen in der Chemie sind lang, so dass Anlagen, die heute gebaut werden, Emissionen und Wettbewerbsfähigkeit für Jahrzehnte prägen. Auch Infrastrukturen für erneuerbare Energien, Wasserstoff und CO_2-Netze benötigen Jahre bis zur Bereitstellung; Deutschland liegt hinter selbst gesteckten Zeitplänen weit zurück. Investitionen in die Klimaneutralität sichern industrielle Wertschöpfung, Arbeitsplätze und technologische Wettbewerbsfähigkeit.

Gleichzeitig verschärft sich der globale Wettbewerb. China setzt gezielt auf Technologieführerschaft in der grünen Transformation und subventioniert die Industrie massiv.

Viele Unternehmen ringen mit wichtigen Standort- und Investitionsentscheidungen.



2 Zielbild 2045

Eine erfolgreiche Industrietransformation in Deutschland ist entscheidend für das Erreichen der nationalen Klimaziele und den Naturschutz bei gleichzeitigem Erhalt von Wertschöpfung und guter Arbeit am Standort. Die Chemieindustrie spielt dabei eine besondere Rolle, weil sie über ihre gesamten, hochkomplexen Wertschöpfungsketten sich selbst transformieren und dabei auch anderen Industriebranchen die Lösungen zur Bewältigung der Transformation an die Hand geben muss.

Um diese Herausforderung zu bewältigen, ist eine gesellschaftlich getragene Vision besonders wichtig. Ein solches Zielbild schafft Orientierung dazu, welche Entscheidungen etwa zu Infrastrukturausbau oder Förderinstrumenten in welchem Zeithorizont zu treffen sind. Außerdem stärkt es das Vertrauen von Politik, Investoren und Gesellschaft, was für die Akzeptanz großer Industrieprojekte unverzichtbar ist.

Aus der Literatur[2,3] und den Analysen im Rahmen dieses Projekts ergibt sich für die Chemieindustrie das folgende Zielbild:

Trotz des Stellen- und Kapazitätsabbaus in den 2020er-Jahren gibt es im Jahr 2045 noch eine bedeutende Chemieindustrie in Deutschland, die eine resiliente Versorgung der weiterverarbeitenden Industrie sichert. Da Energiekosten der dominierende Faktor für Standortentscheidungen bleiben, werden ein signifikanter Anteil unkritischer grüner Vorprodukte der Grundstoffchemie sowie Ammoniak importiert. In Deutschland verbleibt insbesondere die Produktion mit hoher Wertschöpfung, besonderen Ansprüchen an technologisches Know-how und eng verketteten Wertschöpfungsketten in regionalen Clustern (s. → Kapitel 4).

Die verbleibende Chemieindustrie ist bis 2045 auf eine klimaneutrale Produktion umgestiegen und nimmt eine globale Vorreiterrolle ein. Die Transformation zur Klimaneutralität gelingt durch eine Umstellung von Rohstoffen, Produktionsprozessen sowie von in Produktionsprozessen eingesetzten Energieträgern.

Rohstoffe

Als nachhaltige Kohlenstoffquellen kommen im Jahr 2045 nachhaltige Biomasse, recycelte Kunststoffabfälle und CCU (Carbon Capture and Utilisation) zum Einsatz. Für sich genommen sind die verschiedenen Quellen nur begrenzt verfügbar, weswegen alle Möglichkeiten der nachhaltigen Rohstoffgewinnung Verwendung finden.[4]

Um den Rohstoffbedarf aus nachhaltigen Quellen zu bedienen, sind bis 2045 große Kraftanstrengungen für den jeweiligen Hochlauf erfolgt. Die Kreislaufwirtschaft bestreitet den Großteil des Materialeinsatzes und der Verlust von Materialien und Kohlenstoff entlang des Produktlebenszyklus wird weitestgehend vermieden. Dabei hat sich vor allem das mechanische Recycling deutlich intensiviert. Aber auch das chemische Recycling hat trotz seiner Ressourcen- und Energieintensität an Bedeutung gewonnen, da die so gewonnenen Ausgangsmaterialien dieselbe Qualität wie Primärrohstoffe haben. Die stoffliche Nutzung nachhaltiger Biomasse macht ebenfalls einen Teil der Versorgung der Chemieindustrie mit erneuerbarem Kohlenstoff aus.

Für die Allokation der nachhaltigen Kohlenstoffquellen haben sich bis 2045 Modelle wie clusterbezogene Handelsplattformen für kohlenstoffhaltige Stoffströme, über die Angebot und Nachfrage nach nachhaltigen Kohlenstoffquellen niedrigschwellig miteinander verknüpft werden[5], regional etabliert.

Produktionsprozesse und Energieträger

Bis 2045 ist das Potenzial der Elektrifizierung von Produktionsprozessen nahezu vollständig ausgeschöpft[6], nachdem ein Teil der Unternehmen den Einstieg in die Umstellung über die hybride Elektrifizierung genommen hat.[7] Die Technologien, die dabei zum Einsatz kommen, sind Elektrokessel, industrielle Wärmepumpen und elektrische Steamcracker. Die umfassende Elektrifizierung von Produktionsprozessen wurde möglich durch einen massiven Ausbau von erneuerbaren Energien, Stromnetzen und Netzanschlusskapazitäten. Auch die indirekte Elektrifizierung von Produktionsprozessen durch den Einsatz von grünem Wasserstoff hat einen Beitrag zur Klimaneutralität in der Chemieindustrie geleistet.

Trotz der Verbreitung elektrischer Steamcracker sind aufgrund ihrer hohen laufenden Kosten 2045 weiterhin einige konventionelle Anlagen im Einsatz, die mit nicht fossilen Rohstoffen betrieben werden.[8] Ein erheblicher Anteil der prozessbedingten CO_2-Emissionen in Steamcrackern wird abgeschieden und geologisch gespeichert. Da der entsprechende Kohlenstoff aus biogenen oder atmosphärischen Quellen stammt, kann die Chemieindustrie hierbei Negativemissionen erzielen.

Governance und Infrastrukturen

Da der Wandel der Chemieindustrie zur Klimaneutralität hochkomplex und wissensintensiv ist und weitreichende (sicherheits-)politische, ökonomische und gesellschaftliche Implikationen hat, wurde eine Zukunftskommission Chemie als stehendes Gremium eingerichtet. Durch diese Kommission wurden Ende der 2020er- und in den 2030er-Jahren auch langfristige Finanzierungsmodelle entwickelt, die den Umbau der Chemieindustrie absichern, befördern und ihren dauerhaften Erhalt in Deutschland sichern (s. → Kapitel 4). Der Wandel wurde eingebettet in ein lernendes System, das Rohstoffflüsse beobachtet und kritische Abhängigkeiten im Blick behält.

Voraussetzung für eine wettbewerbsfähige Chemieindustrie im Jahr 2045 ist ein ausreichend ausgebautes Wasserstoff- und CO_2-Pipelinenetz, das alle relevanten Chemiestandorte – vor allem Cluster und Chemieparks – bedient. Kleinere oder abgelegenere Standorte werden 2045 mit Zügen oder Lkws versorgt. Auch ein deutlich intensiviertes Recycling und die Verwertung nachhaltiger Biomasse in großem Maßstab erforderten einen Auf- bzw. Ausbau entsprechender Infrastrukturen, wie Sammelstellen, Recyclingkapazitäten, Verarbeitungstechnik, Lagerinfrastrukturen oder sonstige Transport- und Logistikwege.

Im Jahr 2045 gibt es weiterhin attraktive, zukunftsfähige Arbeitsplätze in einer grünen Chemieindustrie, was sich positiv auf die gesamtdeutsche Beschäftigung und den Wohlstand auswirkt. Durch den Erhalt relevanter Chemieunternehmen und heimischer Produktionskapazitäten sind Sicherheit und Resilienz bei größerer Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffen gewährleistet.



3 Aktuelle Herausforderungen und Problemstellungen

Diesem insgesamt positiven Zielbild für das Jahr 2045 steht die heutige Lage der Chemieindustrie entgegen. Sie ist von Herausforderungen geprägt, die es kurz- und mittelfristig aufzulösen gilt, um die grüne Transformation bewältigen zu können. Im Fokus der vorliegenden Analyse stehen dabei nicht konjunkturelle Probleme, denen die deutsche Industrie im Laufe der Transformation immer wieder begegnen wird, sondern strukturelle Schwierigkeiten, die den Wandel grundlegend hemmen. Die folgende Zusammenfassung stellt das gemeinsame Grundverständnis dieser Problemstellungen dar, die in einem ersten Workshop mit Vertreter*innen aus Wissenschaft, Gewerkschaften und Zivilgesellschaft erarbeitet wurden.

Globale Überkapazitäten in der Chemieindustrie, primär in der chinesischen Industrie, drücken die Marktpreise auf ein Niveau, mit dem deutsche Hersteller nicht mithalten können. Teilweise liegen die Preise auf dem Weltmarkt um bis zu 30 Prozent unter den Gestehungskosten in der deutschen Industrie. Energie- und Rohstoffkosten lagen in Deutschland zwar immer schon über dem internationalen Niveau, dieses Kostendelta vergrößert sich aber immer mehr. Vor allem Energiekosten sind dabei ein volatiler Faktor, der Investitionsentscheidungen bremst. Die CO_2-Bepreisung im Zuge des europäischen Emissionshandels (ETS 1) wird von der Industrie als zusätzlicher Malus für die europäische Produktion gesehen. Dieser Wettbewerbsnachteil hat niedrige Kapazitätsauslastungen von aktuell rund 70 Prozent – also deutlich unter dem Rentabilitätsniveau – in der Grundstoffchemie zur Folge, was auch nachgelagerte Wertschöpfungsketten (etwa Kunststoffe, Spezialchemie) unter Druck setzt. Bedingt durch diese wirtschaftliche Schwäche hält sich die Industrie bei Investitionsentscheidungen zurück oder wandert ganz ab in Länder mit günstigeren Kostenstrukturen.

Als kurzfristig besonders relevanter Hebel in der grünen Transformation gilt die Elektrifizierung von Produktionsprozessen. Eine Vollelektrifizierung der chemischen Industrie bei ihrem heutigen Produktionsvolumen würde die Elektrifizierungspotenziale in Europa wahrscheinlich überreizen. Es ist allerdings davon auszugehen, dass sich die Branche bis 2045 in Europa konsolidiert und das gesamte Produktionsvolumen dadurch geringer ist. Kurzfristig bremsen der schleppende Netzausbau und Verzögerungen bei Netzanschlüssen die Elektrifizierung stärker ab als die Verfügbarkeit von (erneuerbaren) Stromquellen.

Gleichzeitig gibt es kaum Anreize, die Rohstoffbasis der Chemieindustrie (Feedstock) zu defossilisieren, also auf fossile Primärrohstoffe zu verzichten und auf Rezyklate oder biobasierte Chemikalien umzustellen. Die stoffliche Nutzung von (fossilem) CO_2 wird im ETS nicht adressiert, weshalb ein eindeutiges Preissignal und eine Begrenzung des Einsatzes fossiler Grundstoffe fehlen. Hemmend wirken zudem ungleich höhere Preise für nachhaltige Rohstoffe sowie deren geringe Verfügbarkeit und ungesicherte Versorgung. Stattdessen erschweren Fehlanreize, die Biomasse energetisch bzw. thermisch zu verwerten, die stoffliche Nutzung zusätzlich. Darunter leidet in etablierten Unternehmen wie in Start-ups auch das Skalieren neuer Geschäftsmodelle und Produktionsverfahren, die auf eine gesicherte Rohstoffversorgung angewiesen sind.

Hinzu kommen eine mangelnde Nachfrage und Zahlungsbereitschaft für grüne (Chemie-)Produkte. Um die Transformation finanzieren zu können, müssen höhere Gestehungskosten entlang der Wertschöpfungskette weitergegeben werden können.

Zusätzlich erschweren politische Rahmenbedingungen ein Vorankommen der grünen Transformation in der Chemieindustrie. Klima-, Energie- und Industriepolitik sind unzureichend miteinander verzahnt und stehen teils in direktem Widerspruch zueinander. Beispielhaft genannt seien hier fossile Privilegien, die bereits erwähnten Anreize für die thermische Nutzung von Biomasse und das Fehlen wichtiger, Orientierung gebender Strategien wie einer Biomassestrategie.

All dies führt dazu, dass die grüne Transformation der Chemieindustrie betriebswirtschaftlich bislang kaum tragfähig und politisch nicht ausreichend abgesichert ist. Zugleich fehlt es an dem notwendigen kulturellen Wandel sowie an einem breiten gesellschaftlichen Rückhalt und Vertrauen in diesen Prozess.

Aus den hier genannten strukturellen Faktoren, die zur Krise der Chemieindustrie und der stagnierenden Transformation zur Klimaneutralität beitragen, lassen sich zwei Fokusthemen mit großer gesamtgesellschaftlicher Relevanz ableiten:

Fokusthema 1

Zum einen gilt es, eine chemische Industrie in Deutschland und Europa zumindest so weit abzusichern, wie es die nationale und europäische Resilienz erfordert. Aktuell ist der Beginn eines einschneidenden Strukturwandels in der deutschen Chemieindustrie zu beobachten. Hier sollten akute Sofortmaßnahmen zur Stabilisierung der Industrie sowie langfristige Maßnahmen für ihre Transformation entwickelt werden, damit auch im Jahr 2045 noch eine gute Versorgung mit heimischen Grundstoffen und sonstigen Chemieprodukten gewährleistet ist. Die Transformation hin zur Klimaneutralität ist unabdingbar für die notwendige Resilienz. Gleichzeitig gilt es, den Strukturwandel auch sozial abzusichern.

Fokusthema 2

Zum anderen braucht die grüne Transformation eine verlässliche Versorgung mit erneuerbaren Kohlenstoffquellen – insbesondere aus nachhaltiger Biomasse, deutlich ausgeweitetem Recycling und dem gezielten Einsatz von CCU. Da Klimaneutralität in der Chemieindustrie untrennbar mit einer Umstellung des Feedstocks verbunden ist, sind grundlegende Weichenstellungen erforderlich, um die bislang noch marginalen Beiträge stofflich genutzter Biomasse sowie von Rezyklaten aus mechanischem und chemischem Recycling auf das in gängigen Zukunftsszenarien vorgesehene Niveau anzuheben.

Diesen Themen widmen sich die folgenden Kapitel.

Die Herausforderungen der Chemietransformation

1. Globale Überkapazitäten und niedriges Marktpreisniveau
2. Schleppender Infrastrukturausbau
3. Fossile Abhängigkeiten und fehlende Anreize für Wechsel der Rohstoffbasis
4. Mangelnde Nachfrage nach grünen (Chemie-)Produkten
5. Unzureichende Verzahnung von Klima-, Energie- und Industriepolitik



4 Eine resiliente Chemieindustrie für eine resiliente Gesellschaft

Wirtschaftliche Resilienz ist ein mehrschichtiges Konzept und umfasst den Zugang zu Rohstoffen und zu erforderlichen Vorprodukten, die Verfügbarkeit von Prozess- und Produktionswissen, wettbewerbsrelevante Standortfaktoren wie Energiekosten, Regulierung und Fachkräfteverfügbarkeit, Investitionskraft sowie Innovations- und Transformationspotenzial. Resilienz im Kontext der Chemieindustrie ist für die deutsche Wirtschaft besonders relevant, da chemische Produkte die Grundlage für alle Wirtschaftszweige sind. Auch sicherheitspolitisch sind Prozesse und Produkte der Chemieindustrie bedeutsam.

Gleichzeitig ist ein Erhalt der Grundstoffchemie in Deutschland auf dem aktuellen Niveau mit der derzeitigen Kostenstruktur betriebswirtschaftlich nicht darstellbar. Wie im vorherigen Kapitel dargestellt, operieren große Teile der deutschen Chemieindustrie unter dem Rentabilitätsniveau und generieren somit nicht die nötigen Mittel, um in den Erhalt und die Transformation der deutschen Standorte zu investieren. Die Industrie argumentiert zudem, dass der europäische Emissionshandel (ETS) Gelder abzieht, die für Standorterhalt und Investitionen in eine nachhaltige Produktion benötigt werden. Der ETS ist nicht so konzipiert, dass die Transformation der Chemieindustrie ausreichend unterstützt wird.

Die gesellschaftliche Relevanz dieses Themas ist erheblich. Im Kontext der Chemieindustrie ist wirtschaftliche Resilienz in besonderem Maße zugleich eine Frage gesellschaftlicher Resilienz – etwa mit Blick auf die verlässliche Versorgung mit chemischen Grundstoffen, die für Ernährungssicherheit und Gesundheitsversorgung unverzichtbar sind. Eine Verlagerung von Produktion in Drittstaaten ginge zudem mit dem Verlust von Know-how, Wertschöpfung und Beschäftigung einher. Zugleich erfordert der Erhalt heimischer Produktion, die unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen nicht rentabel ist, staatliche Unterstützung: kurzfristig, um den Abbau von Kapazitäten und Arbeitsplätzen zu begrenzen, womöglich aber auch in Form einer längerfristigen Subventionierung. Für einen solchen Einsatz öffentlicher Mittel bedarf es gesellschaftlicher Akzeptanz.

Die vorliegende Analyse konzentriert sich deshalb auf zwei Leitfragen:

Welche Teile der Grundstoffchemie wollen bzw. müssen wir erhalten? Welche Teile können oder sollen importiert werden?

Wie kann die heimische Chemieindustrie kurzfristig erhalten und langfristig in die Transformation kommen?

Zur Einordnung der erarbeiteten Roadmap werden im Folgenden das Zielbild für das Jahr 2045 sowie der Status quo als End- und Ausgangspunkte der Transformation beschrieben.

Zielbild 2045: eine resiliente Chemieindustrie in Deutschland

Im Jahr 2045 blickt die europäische Chemieindustrie auf einen Transformationsprozess zurück, der ihren Fortbestand im Kern gesichert und sie zugleich tiefgreifend verändert hat.

Die energieintensive Grundstoffproduktion ist dorthin gezogen, wo erneuerbare Energie besonders günstig und im Überfluss vorhanden ist. Europa importiert daher verstärkt grüne Vorprodukte wie grünes Methanol oder grünes Naphtha sowie einfache Massenchemikalien, etwa für Verpackungen.

Europa hat gelernt: Welche Chemikalien es importiert und von wem, ist eine Frage der Sicherheit. Deshalb basiert die Importstrategie 2045 auf zwei Prinzipien:

Diversifizierung

Energieintensive grüne Vorprodukte werden bewusst aus mehreren verlässlichen Partnerländern bezogen. Das verringert Risiken und verhindert einseitige Abhängigkeiten besonders bei Stoffen, die für die Versorgungssicherheit entscheidend sind, wie Ammoniak.

Unkompliziert, wo möglich

Bei Standardchemikalien ohne strategische Bedeutung, die global standardisiert und in hohem Maße handelbar sind, wie Methanol oder Standard-Polymeren, gelten weniger strenge Regeln. Sie sind weltweit breit verfügbar und damit kein Risiko für die Resilienz Europas.

Die diversifizierten Importe senken Kosten und stärken die Versorgungssicherheit.

Gleichzeitig hat sich die deutsche Chemieindustrie strategisch neu ausgerichtet: Sie konzentriert sich auf die Herstellung hochwertiger Produkte, die aus diesen grünen Vorprodukten entstehen – etwa technische Kunststoffe oder andere Spezialmaterialien mit hoher Wertschöpfung. Damit bleibt Deutschland ein globaler Technologie- und Innovationsstandort.

Doch es gibt bewusst eine zweite, gegenläufige Entwicklung: Europa hält einen verlässlichen Sockel an systemkritischer Grundstoffchemie im eigenen Haus. Dazu gehören:

- eine strategisch gesicherte Grundkapazität für Olefine, Aromate und Methanol
- eine eigenständige Ammoniakproduktion, die die Ernährungssicherheit schützt und Abhängigkeiten in sensiblen Bereichen wie der Sprengstoffproduktion verhindert
- Hauptprodukte mit relevanten Koppelprodukten wie Ethylen und Produkte, die nicht oder nur schwer transportiert und daher auch nicht importiert werden können, wie Chlor
- der Schutz von kritischem Know-how, insbesondere bei technischen Kunststoffen, die unter anderem für die Verteidigungsindustrie gebraucht werden

Diese Grundversorgung wird von strategischen Lagerbeständen für wichtige Chemikalien ergänzt.

Der scheinbare Zielkonflikt zwischen kurzfristiger Absicherung und langfristiger Wettbewerbsfähigkeit wurde nicht durch einzelne Maßnahmen, sondern durch ein bewusst orchestriertes Zusammenspiel aus energie-, industrie- und klimapolitischen Instrumenten gelöst. Erstens erhielt die energieintensive Chemie einen stabilen Zugang zu günstiger erneuerbarer Energie. Die Energiepreise sind zwar marktgetrieben, aber dauerhaft niedriger und berechenbarer als in den frühen 2020er Jahren. Zweitens wurden die heimischen Potenziale für fossilfreien Kohlenstoff konsequent erschlossen. Nachhaltige Biomasse, hochwertiges Recycling und CO_2-Nutzung (CCU) bilden heute die fundamentalen Säulen einer neuen Kohlenstoffwirtschaft (s. → Kapitel 5). Drittens blieben zentrale Verbundstandorte und Chemieparks erhalten – modernisiert, digitalisiert und tief in kreislaufwirtschaftliche Stoffströme integriert. Sie bilden das Rückgrat der heimischen Produktion, bündeln Kompetenzen, Infrastrukturen und Logistik und ermöglichen effiziente Kohlenstoff- und Energiekreisläufe im industriellen Maßstab.

Status quo: integrierte Produktionsstandorte und fossile Abhängigkeiten

Aktuell ist Deutschland entlang großer Teile der chemischen Wertschöpfungsketten vertreten und zählt weltweit zu den am breitesten integrierten Chemiestandorten. Dabei ist die Grundstoffchemie (Steamcracker, Basischemikalien, anorganische Grundstoffe) eine der Kernkompetenzen der deutschen Industrie. Auch bei Vor- und Zwischenprodukten, in der Polymer- und Kunststoffherstellung sowie bei Spezial- und Feinchemikalien ist die deutsche Chemieindustrie international stark vertreten. Ein Wettbewerbsvorteil ist die enge Verzahnung mit weiterverarbeitenden Industrien wie der Automobilbranche, dem Maschinen- und Anlagenbau, der Elektro- und der Verpackungsindustrie. Wie in allen energieintensiven Industrien ist die Produktion in der deutschen Chemieindustrie allerdings seit einigen Jahren rückläufig. Auch der Auslandsumsatz insbesondere in China und den Vereinigten Staaten sinkt, was ein Beleg für die abnehmende Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Chemieindustrie auf dem globalen Markt ist.

Besonders die Grundstoffchemie zeichnet sich durch eine hohe Verbundintegration aus. Sie benötigt eine lokale Grundstoffproduktion, da viele Produkte schwer importierbar sind, Produktionsketten etwa in der Chlor, Wasserstoff und Säureproduktion regional organisiert sein müssen und Unterbrechungen große Folgen für nachgelagerte Industrien hätten. Daher ergeben sich auch Risiken für den gesamten Verbundstandort, wenn einzelne Betriebe zur Unternehmensaufgabe gezwungen sind.

Steamcracker stehen im Zentrum der Transformation der Petrochemie, da sie grundlegende petrochemische Bausteine wie Ethylen, Propylen und weitere Olefine herstellen. Diese Grundstoffe bilden den Ausgangspunkt nahezu aller nachgelagerten Wertschöpfungsketten, insbesondere für Kunststoffe, Chemikalien und Spezialprodukte. Gleichzeitig sind Steamcracker sehr energie- und emissionsintensiv, sodass ihre Defossilisierung entscheidend für die Klimaneutralität der gesamten Branche ist. Das fortgeschrittene Alter vieler Steamcracker in Europa ist einerseits eine Chance für Investitionen in klimaneutrale Technologien, birgt aber andererseits das Risiko, dass ersatzlose Stilllegungen Verbundstandorte aushöhlen. Dass die Elektrifizierung prinzipiell funktioniert, zeigt BASF, die 2024 die weltweit erste Demonstrationsanlage für elektrisch beheizte Steamcracker-Öfen am Standort Ludwigshafen in Betrieb genommen hat.

Die deutsche Chemieindustrie ist in ihrer energetischen wie stofflichen Rohstoffversorgung in hohem Maße auf Importe angewiesen. Der überwiegende Teil dieser Rohstoffbasis stammt aus fossilen Quellen und damit häufig aus Regionen mit instabilen oder autoritär geprägten politischen Verhältnissen. Im Jahr 2024 entfielen 87 Prozent der organischen Rohstoffbasis auf fossile Quellen. Von den 12,1 Millionen Tonnen Mineralölprodukten, die in der Chemieindustrie eingesetzt wurden, wurden rund 90 Prozent stofflich genutzt. Auch im Bereich der energetischen Nutzung deckten fossile Energieträger mehr als die Hälfte des direkten Endenergieverbrauchs – wobei ihr Anteil an der Strom- und Wärmeerzeugung hierin noch nicht enthalten ist.

Für die sinkende Wettbewerbsfähigkeit gelten unter anderem hohe Energiekosten sowie der steigende CO_2-Preis als mitverantwortlich. Laut dem Verband der Chemischen Industrie sehen 59 Prozent der Chemie- und Pharmaunternehmen ihre Geschäftstätigkeit in Deutschland durch hohe Energiekosten schwer oder sehr schwer belastet.[9] Der europäische CO_2-Preis hat sich seit 2020 etwa verdreifacht, allerdings lag der bereinigte Ausstattungsgrad der chemischen Industrie mit kostenlosen CO_2-Zertifikaten von 2021 bis 2024 zwischen 88 und 125 Prozent der tatsächlichen Emissionen der Branche und damit auch deutlich über dem Ausstattungsgrad der Stahl- und Zementindustrie.[10]

Da es jenseits der hohen Kosten für fossile Rohstoffe sowie der politischen Klimaschutzarchitektur aus Klimazielen und dem ETS kaum Anreize oder nachhaltige Förderansätze für eine Umstellung der Produktion auf klimafreundliche Prozesse gibt, verläuft die grüne Transformation bisher eher schleppend. Dies wird zusätzlich dadurch erschwert, dass sowohl der Wasserstoffhochlauf als auch der Aufbau einer CO_2-Infrastruktur hinter den avisierten Zeitplänen zurückliegen.

Roadmap 2045: Schlüsselmaßnahmen und -meilensteine

Die Zeitstrahlen in Abbildungen 1 und 2 (s. Seite 16f) stellen im Detail die Ergebnisse der Analysen im Rahmen dieses Projekts dar mit wichtigen Meilensteinen und Hürden entlang des Transformationsprozesses hin zu einer resilienten, klimaneutralen Chemieindustrie im Jahr 2045. Für die Gewährleistung von langfristiger Zukunftsfähigkeit und Resilienz sind dabei zwei Prinzipien leitend: planbare Preissignale und verlässliche Rahmenbedingungen. Im Folgenden sei das Augenmerk auf wichtige Meilensteine und entsprechende Maßnahmen gerichtet:

1 Das gesamte Zusammenspiel aus heimischer Produktion, gezielten Importen und strategischen Reserven ist kein fixer Zustand, sondern ein laufender Prozess. Ein moderner Governance-Mechanismus – etwa in Form einer „Zukunftskommission Chemie“ – sorgt dafür, dass das System stabil bleibt und sich weiterentwickelt.

Ein lernendes System: Monitoring und gemeinsame Verantwortung

Nach dem Vorbild der Kohlekommission („Kommission für Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“) oder der Zukunftskommission Landwirtschaft wird ein Gremium unter Beteiligung von Politik, Wirtschaft, Wissenschaft, Gewerkschaften und Zivilgesellschaft eingerichtet. Dieses Gremium bündelt grundlegendes Wissen über Wertschöpfungsketten und deren Verzahnungen in Europa sowie über Standortbedingungen, Rohstoff- und Energiebedarfe und begleitet über die 2030er-Jahre hinweg Erhalt und Transformation einer resilienten Chemieindustrie. Das Gremium bewertet kontinuierlich:

- Welche Chemikalien sind kritisch für die Versorgungssicherheit?
- Wo entstehen neue, möglicherweise kritische Abhängigkeiten?
- Welche Importe sind strategisch sinnvoll?
- Was muss Europa selbst produzieren?
- Wie verteilen sich die Kosten und die sozialen Folgen?
- Wie ist es um die Akzeptanz des gewählten Maßnahmenmixes bestellt?

Das Monitoring muss innerhalb der Grenzen von Datenverfügbarkeit sowie Datensparsamkeit aus betriebswirtschaftlichen und sicherheitspolitischen Erwägungen operieren.

Aus diesem Gremium heraus entsteht ein Zielbild für eine resiliente Chemieindustrie, es werden Fördermaßnahmen erarbeitet sowie Bedarfe für eine kritische Lagerhaltung definiert. Langfristig entsteht so ein robustes, zukunftsfähiges Chemiesystem, das Versorgungssicherheit gewährleistet, Innovationen stärkt und zugleich den Weg in eine klimaneutrale Zukunft ebnet.

2 Die Zukunftskommission entwickelt frühzeitig eine Importstrategie. Diese umfasst Konzepte für strategische und langfristig angelegte Importpartnerschaften bzw. -abkommen, spezifische Importinstrumente sowie gegebenenfalls Finanzierungsinstrumente für Auslandsinvestitionen, um diversifizierte grüne Importe zu ermöglichen. Entscheidend ist, die Strategie als dynamisches Instrument anzulegen und regelmäßig darauf zu überprüfen, ob sie einerseits eine hinreichende Diversifizierung der Bezugsquellen gewährleistet und andererseits dort geringere Anforderungen an Versorgungsquellen stellt, wo Importe keine oder nur geringe Resilienzrisiken mit sich bringen.

3 Erhalt und Transformation der Chemieindustrie werden durch einen Mix aus langfristig angelegten CAPEX- und OPEX-Instrumenten, einschließlich Klimaschutzverträgen, abgesichert, um Investitionen in grüne Grundchemikalien wirtschaftlich tragfähig zu machen. Dabei sind sowohl die energetische als auch die stoffliche Transformation zu berücksichtigen (s. → Kapitel 5). Angesichts des strukturellen Kostennachteils der Chemieindustrie in Deutschland (s. → Kapitel 3) läuft dieser Instrumentenmix auf eine dauerhaft unterstützende Finanzierung hinaus. Die Mehrkosten grüner Produktion werden entlang der Wertschöpfungskette weitergegeben, etwa über eine Endprodukt- bzw. Endverbraucherabgabe. Damit eine solche Maßnahme gesellschaftlich akzeptiert wird, bedarf es eines kulturellen Wandels zu größerer Zahlungsbereitschaft für grüne Produkte; zugleich müssen höhere Verbraucher*innenpreise gegebenenfalls staatlich abgefedert werden.

4 Ein stabiler ETS bildet bis in die 2040er-Jahre das Rückgrat der Industrietransformation mit einem verlässlichen Preissignal. Gleichzeitig fließen die Einnahmen aus dem Emissionshandel zurück in Transformationsprojekte der Industrie, anstatt für andere staatliche Finanzierungsbedarfe herangezogen zu werden. Diese Rückführung ist an klare Konditionalitäten zur Mittelverwendung für die Transformation gebunden. Der Markt bleibt damit das zentrale Steuerungsinstrument, während Unternehmen

Roadmap Resilienz 1

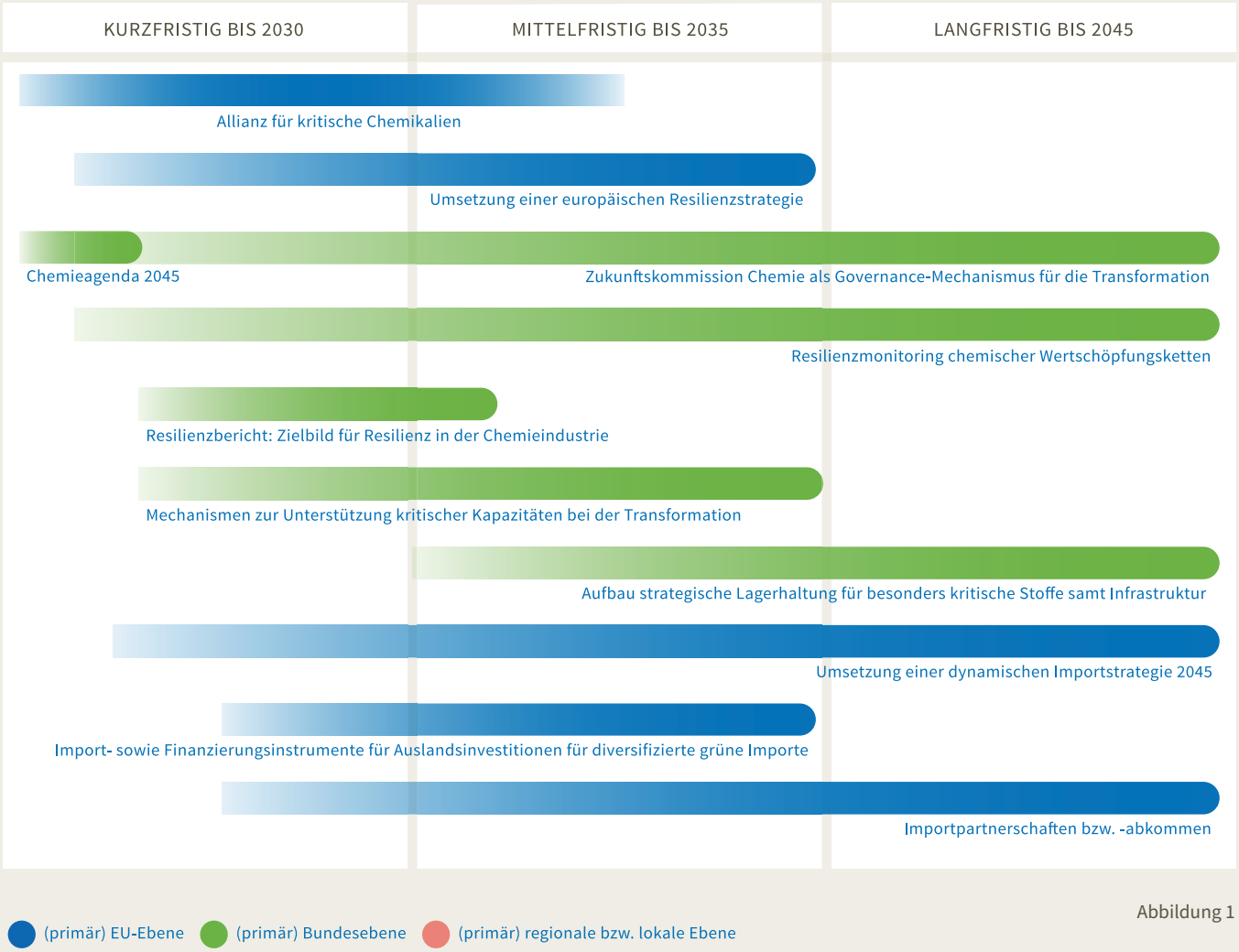


Abbildung 1

gezielt Unterstützung für klimaneutrale Investitionen erhalten. Der Grenzausgleichsmechanismus (CBAM) ist in seiner aktuellen Form nicht für alle Teile der Chemieindustrie geeignet und wird bis Mitte der 2030er-Jahre weiterentwickelt bzw. um andere Instrumente ergänzt, um einen wirksamen Carbon-Leakage-Schutz herzustellen.

Als Begleitinstrument für den ETS in der zweiten Hälfte der 2030er-Jahre wird ein System geschaffen, in dem Negativemissionen, die auch in der Chemieindustrie entstehen werden, handelbar sind. Dieses System bildet den Rahmen für den Ausgleich unvermeidbarer Restemissionen und wird integraler Bestandteil eines vollständig klimaneutralen Wertschöpfungssystems.

5 Local-Content-Regelungen bzw. Vorgaben für die klimafreundliche öffentliche Beschaffung stärken spätestens ab 2029 zusätzlich die Nachfrage nach heimischen grünen Produkten, während der Aufbau grüner Leitmärkte Unternehmen Planungssicherheit gibt und Investitionen beschleunigt. Ambitionierte Quotenregelungen, wie im europäischen Industrial Accelerator Act (IAA) vorgesehen sowie für deutsche Vergaberegularien gefordert, unterstützen den Markteinstieg und werden regelmäßig an den kontinuierlichen Aufbau grüner Kapazitäten angepasst.

6 Um den Kostenabstand zu Standorten mit günstigeren Bedingungen so gering wie möglich zu halten, reduziert ein fein austariertes Maßnahmenpaket die Gestehungskosten. Hierzu zählen Maßnahmen für die Versorgung der Industrie mit erneuerbaren Kohlenstoffen (s. → Kapitel 5), mit günstigem, grünem Strom primär durch den flächendeckenden Ausbau von erneuerbaren Energien. Ein gezielter, aber umfassender Infrastrukturausbau für grünen Strom, Wasserstoff und CO_2-Transport unterstützt die Transformation. Diese Maßnahmen schaffen langfristig die Grundlage für Skalierungseffekte, Standortattraktivität und technologische Führerschaft.

Roadmap Resilienz 2

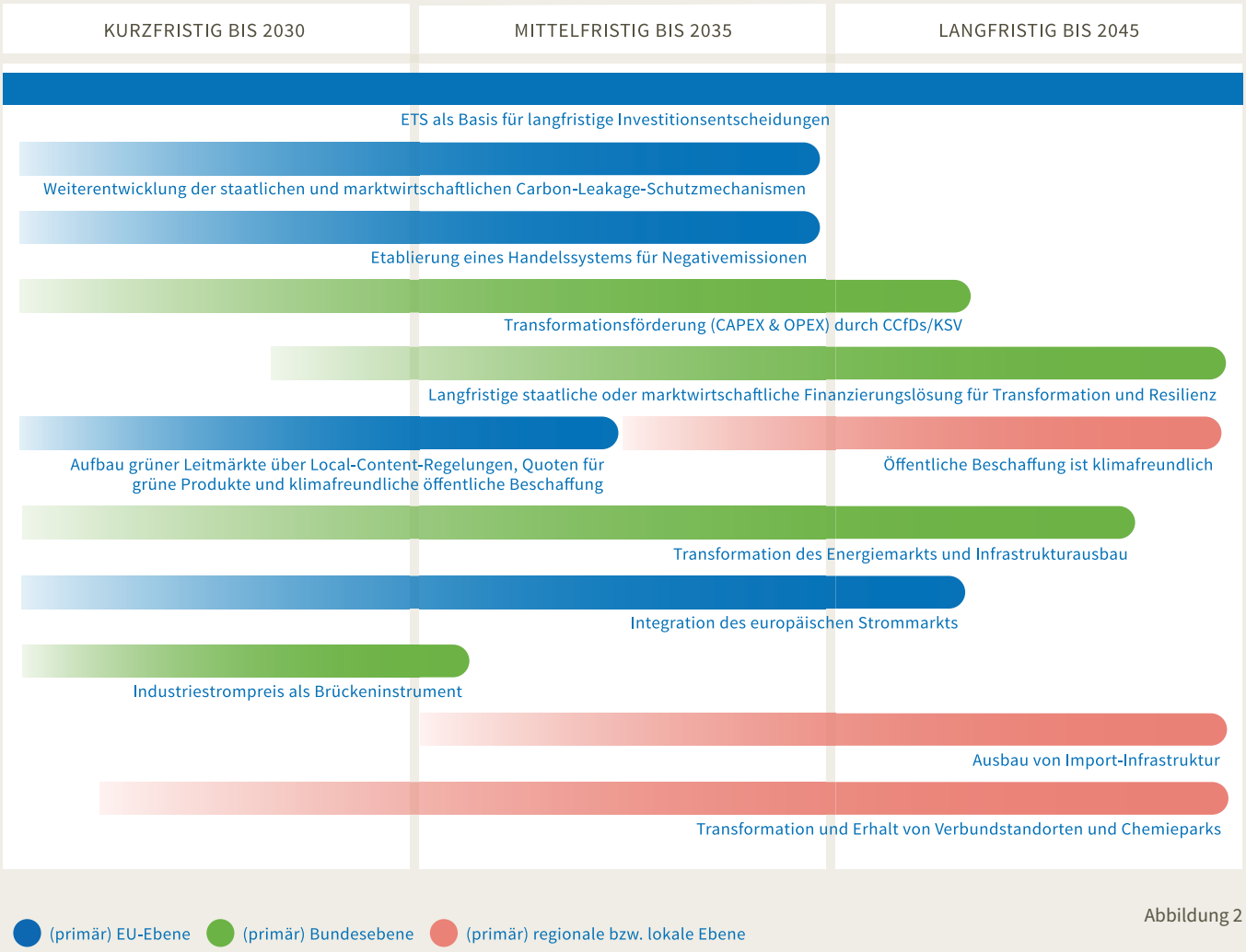


Abbildung 2

Ein Industriestrompreis bis in die frühen 2030er-Jahre dient als Brückenmaßnahme, um die Energiekosten abzufedern, bis die Ausbauziele für erneuerbare Energien erreicht sind. Eine stärkere Integration des europäischen Strommarkts macht die Stromversorgung in Europa effizienter und damit kostengünstiger. Zudem werden innovative Modelle wie die von der EU-Kommission empfohlenen „dreiseitigen Verträge über erschwingliche Energie“ (Tripartite Energy Contracts)[11] erprobt.

7 Ein wichtiges Element einer resilienten Chemieindustrie ist die gezielte Förderung von Verbundstandorten, in denen integrierte Wertschöpfungsketten einen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft leisten. Ein Bewusstsein für und Denken in regionalen Clustern zieht sich als roter Faden durch alle Maßnahmen. Wichtig ist insbesondere der gezielte Erhalt von Steamcrackern in den Regionen als Kernstücken von Verbundstandorten.



5 Eine erneuerbare Kohlenstoffwirtschaft

Kohlenstoff ist der zentrale Produktionsbaustein der organischen Chemieindustrie und findet sich in einer Vielzahl von Grund- und Spezialchemikalien wieder. Die chemische Industrie ist auf kohlenstoffbasierte Rohstoffe angewiesen, steht jedoch gleichzeitig vor der Aufgabe, ihre Abhängigkeit von fossilen Quellen deutlich zu reduzieren, um das Ziel der Klimaneutralität bis 2045 zu erreichen. Vor diesem Hintergrund gewinnen Kohlenstoffquellen wie Biomasse, stoffliches Recycling und CCU zusehends an Bedeutung. Keine dieser Optionen ist für sich genommen in der Lage, den langfristigen Rohstoffbedarf der Branche zu decken. Erst ihr komplementäres Zusammenspiel kann die Grundlage für eine resiliente und nachhaltige Rohstoffbasis der deutschen Chemieindustrie bilden.

Zentrales Leitbild für die grüne Transformation muss die Etablierung eines möglichst geschlossenen Kohlenstoffkreislaufs sein, mit dem Ziel, Kohlenstoff aus nachhaltiger Biomasse, Recyclingströmen und abgeschiedenem CO_2 in die chemische Produktion einzuspeisen, langfristig in Produkten zu binden und nach deren Nutzung erneut in den Wirtschaftskreislauf zurückzuführen. Kohlenstoffverluste durch Verbrennung oder Deponierung müssen vermieden und durch geeignete Rückgewinnungs- und Nutzungstechnologien minimiert werden.

Gegenwärtig verfügen fossile Kohlenstoffe aufgrund ihrer deutlich geringeren Kostenstruktur über einen klaren Wettbewerbsvorteil und bilden daher die wichtigste Kohlenstoffquelle in der organischen Chemieindustrie. Fossile Rohstoffe aus Mineralöl, Erdgas und Kohle machen 87 Prozent der stofflichen Rohstoffbasis aus, jedoch werden diese nicht im ETS erfasst und bepreist. Am Ende ihres vorwiegend linearen Lebenszyklus werden die daraus produzierten Stoffe in Deutschland größtenteils thermisch verwertet. Der enthaltene Kohlenstoff wird dabei als CO_2 in die Atmosphäre freigesetzt und steht der Chemieindustrie nicht mehr als Rohstoff zur Verfügung. Lediglich sechs Prozent des Kohlenstoffs in der chemischen Industrie werden durch mechanisches Recycling von Kunststoffabfällen im Kreislauf gehalten.[12]

Erneuerbare Kohlenstoffquellen kommen aktuell primär in der Herstellung von Wasch- und Reinigungsmitteln, Kosmetika, biobasierten Kunststoffen und Pharmazeutika zum Einsatz.[13]

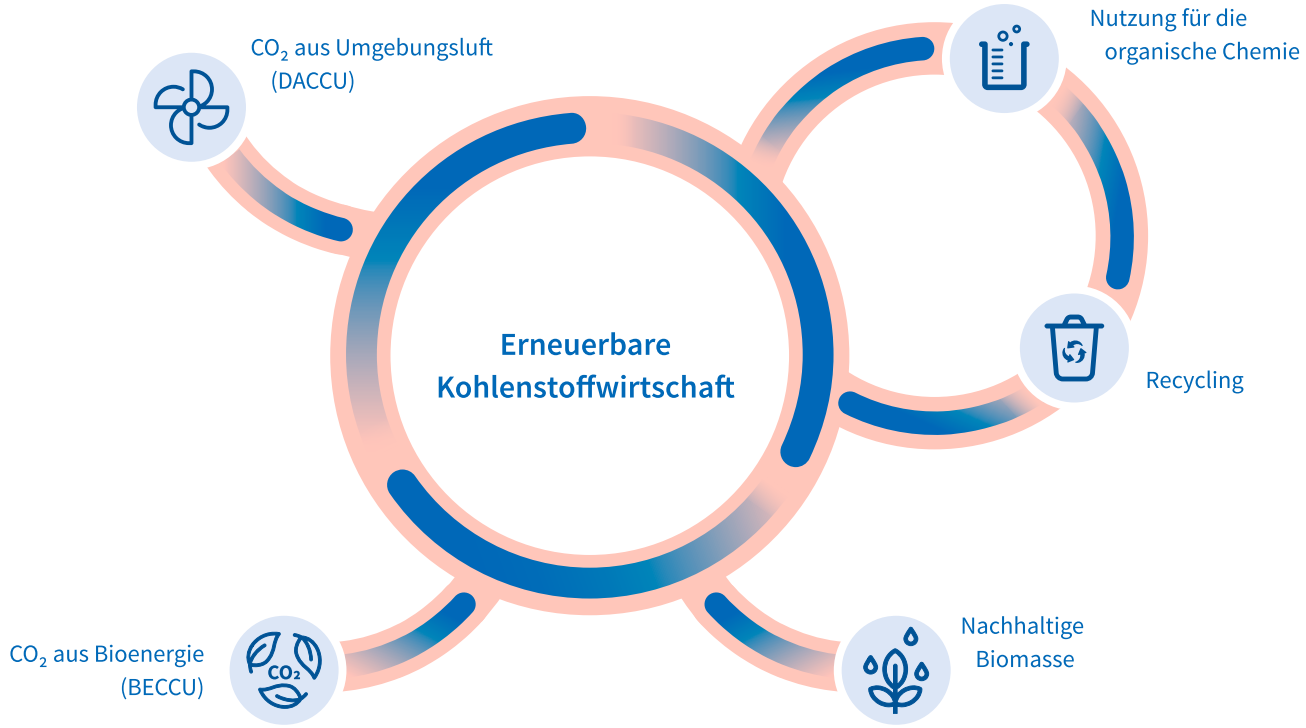


Abbildung 3: Eine erneuerbare Kohlenstoffwirtschaft und ihre Komponenten, eigene Darstellung

Einzelne Unternehmen treiben zwar die Nutzung erneuerbarer Kohlenstoffquellen und entsprechender Technologien voran, doch mangels verbindlicher politischer Leitplanken bleiben diese Initiativen auf einzelne Produkte begrenzt. Dadurch entfalten sie kaum Marktdynamik und tragen nur in geringem Maße zur Entwicklung neuer, skalierbarer Geschäftsmodelle bei. Damit Innovationen, Investitionen und Klimaschutz wirksam ineinandergreifen, ist eine eindeutige Unterscheidung der Kohlenstoffquellen nach fossiler oder erneuerbarer Basis ebenso erforderlich wie deren gezielte Steuerung und ein regulatorischer Rahmen, der den Einsatz erneuerbarer Rohstoffe aktiv unterstützt.

Wettbewerbsfähige Produkte auf Basis erneuerbarer Kohlenstoffquellen setzen deshalb eine koordinierte Steuerung voraus, die die gesamte industrielle Wertschöpfungskette berücksichtigt, von der Rohstoffgewinnung über die Verarbeitung bis hin zum Endprodukt. Bleibt eine solche strategische Unterstützung aus, drohen erhebliche Wettbewerbsnachteile gegenüber Staaten, die nachhaltige Kohlenstofftechnologien bereits gezielt vorantreiben. Dies hätte negative Konsequenzen für Klima, Umwelt und die langfristige Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandorts.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die in den Workshops erarbeiteten Maßnahmen für die Transformation der Rohstoffbasis der chemischen Industrie auf Basis von Biomasse, Recycling und CCU dargestellt. Das Kapitel schließt mit den zentralen Maßnahmen für den Hochlauf dieser erneuerbaren Rohstoffquellen, die bislang politisch nur unzureichend berücksichtigt werden.

Biomasse

Biomasse stellt einen wichtigen Rohstoff für eine klimaneutrale Chemieindustrie 2045 dar. Durch ihren Einsatz können fossile Rohstoffe substituiert und die Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette signifikant reduziert werden. Biomasse wird in Bioraffinerien durch biotechnologische und thermochemische Verfahren, etwa über Fermentation oder Vergasung, in sogenannte Plattformchemikalien umgewandelt. Diese dienen als Ausgangsstoffe für weitere Verarbeitungsschritte und können unter anderem zu Drop-in-Chemikalien weiterentwickelt werden, die sich direkt in bestehende industrielle Prozesse integrieren lassen.[14] Allerdings ist Biomasse aufgrund ihrer begrenzten Verfügbarkeit nur in Anwendungsbereichen einzusetzen, in denen alternative Defossilisierungsoptionen noch limitiert sind. Dazu zählen hinsichtlich der energetischen Nutzung Hochtemperaturprozesse, die nur schwer elektrifiziert werden können.[15]

Als Teil des natürlichen Kohlenstoffkreislaufs bindet Biomasse während ihres Wachstums CO_2 aus der Atmosphäre. Wird biogener Kohlenstoff stofflich genutzt, bleibt er im Produkt gebunden, wodurch eine temporäre Kohlenstoffsenke entsteht. Die Klimawirkung von Biomasse wie Holz wird jedoch im LULUCF-Sektor bilanziert und entfaltet im EU-Emissionshandel keine ökonomischen Anreize bei der Festlegung in (langlebigen) Produkten. Dadurch bestehen strukturelle Lücken in den politischen Rahmenbedingungen zur Förderung einer stofflich fokussierten Biomassenutzung. Im Vergleich zur energetischen Nutzung, bei der der Kohlenstoff durch die Verbrennung direkt wieder freigesetzt wird, erzielt die stoffliche Nutzung eine höhere und gezieltere Klimawirkung. Die Umsetzung der Kaskadennutzung ermöglicht eine mehrfache Verwendung biogener Rohstoffe, bevor sie am Ende ihres Lebenszyklus energetisch verwertet werden, und trägt damit zu einer effizienteren Ausschöpfung des Potenzials biogenen Kohlenstoffs bei.[16]

Vor diesem Hintergrund stellen eine nachhaltige Rohstoffproduktion und ressourceneffiziente Anwendung eine Voraussetzung für eine klimafreundliche Transformation der chemischen Industrie dar. Darüber hinaus kann ihre Nutzung zur Stärkung der Resilienz industrieller Wertschöpfungsketten sowie zur Erhöhung der Versorgungssicherheit beitragen, indem sie eine Diversifizierung der Rohstoffquellen ermöglicht und damit geopolitische Abhängigkeiten reduziert. In diesem Zusammenhang ergeben sich Potenziale zur Förderung der Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandorts Deutschlands, besonders dann, wenn Biomasse regional bereitgestellt und verarbeitet wird. Dies kann vor allem in ländlichen Regionen zur Etablierung neuer Wertschöpfungsketten führen, indem landwirtschaftliche Produktion, Aufbereitung und chemische Weiterverarbeitung enger verknüpft werden. Zudem eröffnet der Einsatz von Biomasse weitere Potenziale für technologische Innovationen, wie die Entwicklung neuer Materialien und Produktionskonzepte.

Die Chemieindustrie ist auf verlässliche biogene Rohstoffe angewiesen, während landwirtschaftliche Flächen weiterhin überwiegend für Futtermittel und Energiepflanzen genutzt werden und staatliche Anreizsysteme bislang vor allem die energetische Verwertung von Biomasse begünstigen. Daraus ergibt sich die Leitfrage, die in diesem Kapitel bearbeitet wird:

> Welche Maßnahmen und Anreizstrukturen sind erforderlich, um die Landnutzung für Futter- und Energiepflanzen hin zu einer verstärkten Bereitstellung von Biomasse für die chemische Industrie zu verschieben?

Im weiteren Verlauf werden zur Kontextualisierung der erarbeiteten Roadmap das Zielbild für das Jahr 2045 sowie die aktuellen Ausgangspunkte der Transformation beschrieben.

Zielbild 2045: Biomasse als strategischer Rohstoff der Chemieindustrie

Im Jahr 2045 ist Biomasse mit einem Anteil an der Rohstoffbasis der chemischen Industrie von rund einem Viertel ein zentraler Bestandteil einer klimaneutralen, biobasierten Wertschöpfung. Die stoffliche Nutzung von Biomasse besitzt gegenüber der energetischen Verwertung einen klaren politischen und regulatorischen Vorrang.

Dazu beigetragen hat die verbindlich etablierte Kaskadennutzung als Leitprinzip zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Der energetische Einsatz von Biomasse erfolgt ausschließlich in schwer substituierbaren Anwendungen und in Kombination mit der Abscheidung und dauerhaften Speicherung biogenen Kohlenstoffs (Bioenergy with Carbon Capture and Storage, BECCS).

Der Rückgang des Energiepflanzenanbaus sowie veränderte Ernährungsmuster mit einem geringeren Konsum tierischer Produkte und einer entsprechend reduzierten Futtermittelproduktion haben zu einer Verringerung der Flächenkonkurrenz geführt und die Erschließung zusätzlicher Potenziale für nachhaltige Rohstoffströme der stofflichen Biomassenutzung ermöglicht.

Das digitale und transparente Biomassemonitoring unterstützt die Erfassung und Steuerung der Rohstoffströme unter Berücksichtigung des Biodiversitätsschutzes. Dabei sichern langfristige Kooperationen mit Land- und Forstwirtschaft eine diversifizierte Rohstoffbasis.

Die Etablierung grüner Leitmärkte hat in der chemischen Industrie maßgeblich stabile Investitionsbedingungen für biobasierte Wertschöpfung geschaffen. In der Kombination aus technologischer Innovation, geschlossenen Kohlenstoffkreisläufen und regional verankerten Lieferketten ist Biomasse ein strategischer Grundpfeiler einer resilienten, klimapositiven und wettbewerbsfähigen Chemieindustrie geworden.

Status quo: begrenzter Einsatz unter erschwerten Marktbedingungen

Die biobasierte chemische Wertschöpfungskette spielt im heutigen Chemiesektor noch eine untergeordnete Rolle und ist überwiegend auf Nischenanwendungen beschränkt. Wettbewerbsfähige Anwendungen sind unter den aktuellen Marktbedingungen bislang nur eingeschränkt realisiert.[17, 18] Eine Ursache hierfür sind die Kosten, die höher sind als für fossile Rohstoffe. Sie resultieren sowohl aus der aufwendigeren Herstellung, Logistik und

Roadmap Biomasse

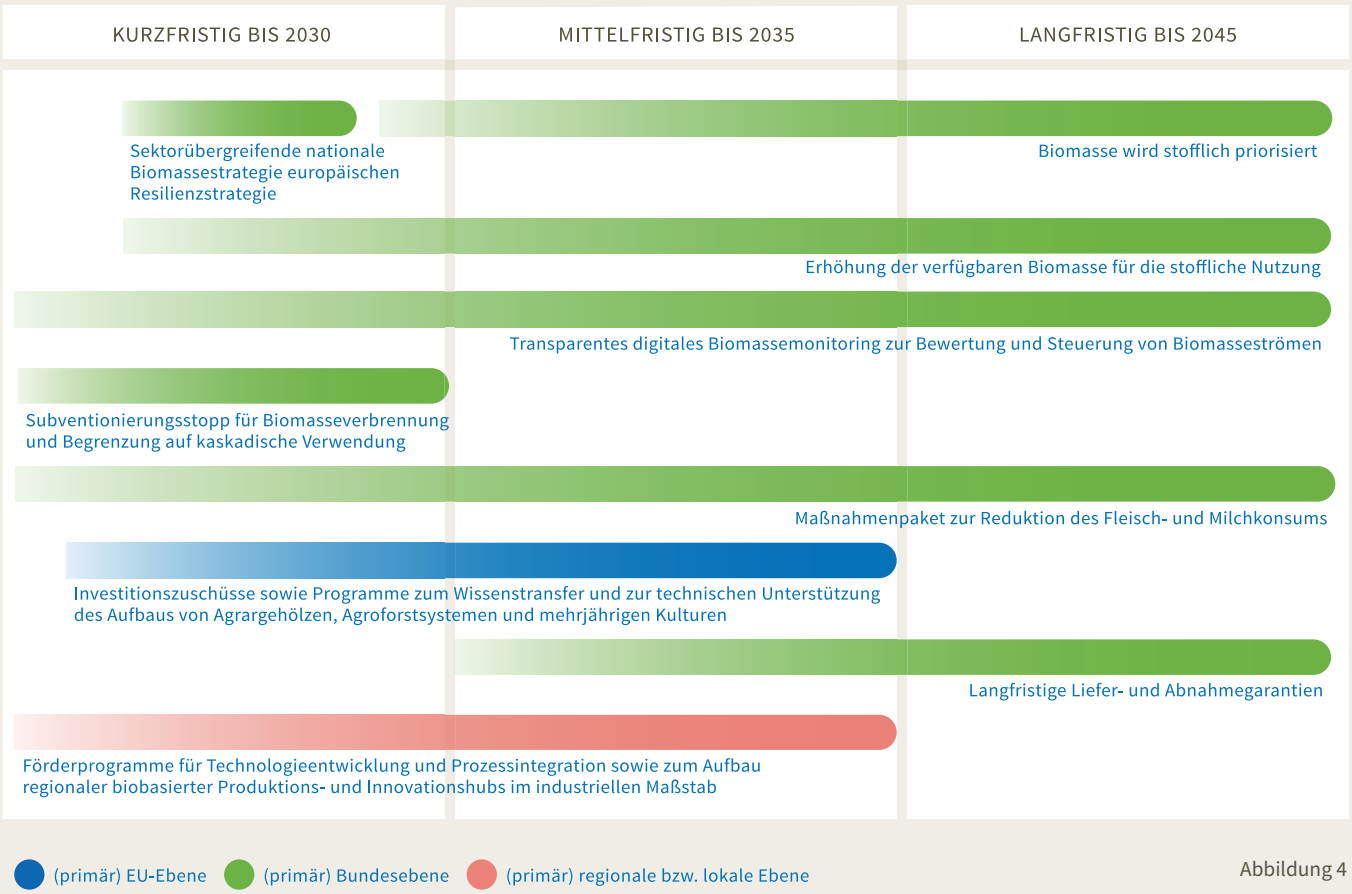


Abbildung 4

Aufbereitung als auch daraus, dass die Skaleneffekte infolge der bislang begrenzten industriellen Skalierbarkeit biobasierter Verfahren noch geringer sind als in der petrochemischen Produktion. Hinzu kommen hohe Investitionskosten für den Neubau oder für die Umrüstung bestehender petrochemischer Anlagen. Bislang werden biobasierte Technologiepotenziale nur eingeschränkt genutzt.[19]

Im Jahr 2024 basierte die stoffliche Rohstoffversorgung der chemischen Industrie in Deutschland zu rund 87 Prozent auf fossilen Ressourcen, während lediglich etwa 13 Prozent auf nachwachsende Rohstoffe entfielen, was einer Größenordnung von rund 1,9 Millionen Tonnen Trockenmasse entspricht. Die verwendete Biomasse konzentriert sich vor allem auf Zellstoff aus lignocellulosereicher Biomasse sowie fett-, öl-, stärke- und zuckerhaltigen Pflanzen.[20] Aktuelle Prognosen des VCI gehen davon aus, dass zur Erreichung der Klimaziele 2045 im chemischen Sektor allein etwa 44 Millionen Tonnen Trockenmasse aus biogenen Quellen benötigt würden. Voraussichtlich werden 2045 allerdings nur etwa 26 Millionen Tonnen Trockenmasse zur Verfügung stehen, was bereits dem mehr als Zehnfachen der aktuell verwendeten Biomasse in der stofflichen Nutzung entspricht.[21] Daher ist dieser Sektor auf eine diversifizierte Biomasserohstoffbasis angewiesen, die neben Biomasse aus konventioneller Ackerproduktion sowie Rest- und Abfallstoffen auch Agrargehölze umfasst. Allerdings fehlt eine transparente Datengrundlage, die das tatsächlich nachhaltige Biomassepotenzial unter Berücksichtigung ökologischer Grenzen umfassend abbildet.

Trotz der strategischen Bedeutung von Biomasse für den chemischen Sektor wird deren stoffliche Nutzung politisch nicht ausreichend adressiert. Derzeit entfällt lediglich rund ein Prozent der heimischen landwirtschaftlichen Flächennutzung auf den Anbau von Industriepflanzen, während Gehölze noch einen geringen Anteil einnehmen.[22] Nationale Regelwerke konzentrieren sich überwiegend auf die energetische Verwertung in Form der Verbrennung für Prozesse, die leicht zu elektrifizieren sind (Wärme, Strom, Verkehr).[23] Sie verschärfen damit den sektorübergreifenden Wettbewerb um Biomasse bei gleichzeitig begrenzter Verfügbarkeit.

Neben der Ausweitung von Energiepflanzen, die bereits rund 13 Prozent[24] der landwirtschaftlichen Fläche einnehmen, wird die derzeitige Flächennutzung in Deutschland maßgeblich durch den Anbau von Futtermittelpflanzen mit rund 60 Prozent[25]

für die intensive Tierhaltung geprägt. Bislang fehlen kohärente politische Rahmenbedingungen, die eine entsprechende Transformation zu nachhaltigeren, stärker pflanzenbasierten Ernährungsmustern systematisch unterstützen und damit einhergehend die Fläche für die Tiernutzung senken.

Die aktuelle Flächennutzung ist in Deutschland damit nicht auf verlässliche Rohstoffströme für stoffliche Anwendungen ausgerichtet. Insgesamt fehlt es an politischen Leitplanken, die eine gezielte, sektorübergreifende Allokation von Biomasse unter Berücksichtigung ökologischer Grenzen ermöglichen. Für Unternehmen bestehen daher erhebliche Herausforderungen im Hinblick auf langfristige Planungssicherheit und verlässliche Rohstoffströme, besonders im Zuge der steigenden Biomassenachfrage weiterer Sektoren.

Roadmap 2045: Schlüsselmaßnahmen und -meilensteine

Die Roadmap in Abbildung 4 skizziert Handlungsfelder und Herausforderungen für den gezielten Ausbau des Biomasseeinsatzes im chemischen Sektor, um fossile Rohstoffe zu substituieren und damit einen wirksamen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele zu leisten. Auf Basis der zuvor beschriebenen Leitfrage werden konkrete Meilensteine benannt, deren schrittweise Umsetzung eine ökologisch und wirtschaftlich tragfähige Nutzung von Biomasse ermöglichen soll.

1 Ein belastbares Biomassemonitoring für die Bewertung und Steuerung von Biomasse wird bereitgestellt. Dafür ist eine Bestandsaufnahme, die sowohl die aktuelle als auch die potenzielle Verfügbarkeit unterschiedlicher Biomassearten quantifiziert, erfolgt. Notwendig sind einheitliche Standards, die Nachhaltigkeitskriterien verbindlich verankern und dabei zentrale Umweltwirkungen wie beispielsweise Landnutzungsänderungen, Auswirkungen auf die Biodiversität sowie Effekte auf den Wasserhaushalt konsistent berücksichtigen. Eine digitale Infrastruktur, die Daten regelmäßig aktualisiert und Veränderungen in biologischen Systemen zuverlässig abbildet, wird eingeführt. Klimawandelbedingte Wetterextreme und die damit einhergehenden schwankenden Biomasseerträge sind in das Monitoring integriert und als Grundlage für die Stabilität der Biomassenutzung berücksichtigt. Eine verlässliche Datenbasis stellt sicher, dass politische und industrielle Entscheidungen nicht auf unvollständigen oder veralteten Annahmen beruhen.

2 Eine sektorübergreifende nationale Biomassestrategie setzt klare Prioritäten, löst Zielkonflikte zwischen verschiedenen Sektoren auf und legt den nachhaltigen Umgang mit Biomasse als begrenzter Ressource verbindlich fest. Unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien werden Biomasseerträge gesteigert. Ebenso entscheidend ist die Harmonisierung von abfall- und kreislaufwirtschaftlichen Regelungen sowie die effizientere Nutzung bestehender Rest- und Abfallstoffströme. Die Biomassestrategie wird konsequent auf eine ressourceneffiziente Nutzung von Biomasse ausgerichtet. Im Mittelpunkt steht die gezielte stoffliche Priorisierung von Biomasse.

3 Die energetische Nutzung ist auf eine kaskadische Verwendung sowie auf die Bereitstellung von Flexibilitätsoptionen im Stromsystem beschränkt. Zentrale Bausteine sind der schrittweise Subventionierungsstopp der energetischen Verbrennung und ein stärkerer Ausbau erneuerbarer Energien. Mit dem Ausbau von Speichertechnologien nimmt die Bedeutung von Biogas als Flexibilitätsoption im Stromsystem ab. Dadurch wird der Anbau von Energiepflanzen reduziert und Flächenkonkurrenzen entschärft.

4 Um den Futtermittelanbau und damit die hohe Flächeninanspruchnahme zu reduzieren, hilft ein langfristiges Maßnahmenpaket, das die Reduktion des Fleisch- und Milchwarenkonsums stetig voranbringt.

5 Für den Aufbau von Agrargehölzen, Agroforstsystemen und mehrjährigen Kulturen gibt es Investitionszuschüsse für den Anbau sowie Programme zum Wissenstransfer und zur technischen Unterstützung. Insgesamt bieten langfristige Lieferverträge und verlässliche Abnahme- und Liefergarantien Sicherheit für Investoren.

6 Parallel zu einer tragfähigen Rohstoffbasis erfolgt der zügige Aufbau einer investiven Förderkulisse, um biobasierte Technologien in den industriellen Maßstab zu überführen. Räume werden geschaffen, in denen die biobasierte Produktion einfacher, schneller und kostengünstiger skaliert werden kann. Maßgeblich ist die frühzeitige und strategische Konzeption von Bioraffinerien und regionalen Hubs.

Recycling

Recyclingverfahren sind der wichtigste Baustein für eine erneuerbare Kohlenstoffwirtschaft, indem sie den Einsatz kritischer, fossiler Rohstoffe reduzieren und Kohlenstoff möglichst lange im Wirtschaftskreislauf halten. Besonders fortgeschrittene Verfahren des chemischen Recyclings sollen es perspektivisch ermöglichen, Kohlenstoff nahezu endlos wiederzuverwenden. Dies verringert Importabhängigkeiten, erhöht die Rohstoffsicherheit und trägt dazu bei, den wachsenden Rohstoffbedarf der Chemieindustrie zu decken.

Unterschiedliche Recyclingverfahren werden dabei komplementäre Rollen übernehmen, um auch heterogene Stoffströme erneut nutzbar zu machen.

Aktuell ist chemisches Recycling zu energie- und kostenintensiv. Zudem ist der Klimanutzen je nach Methode umstritten. Die nachfolgende Roadmap konzentriert sich deshalb auf die Leitfrage:

Wie kann chemisches Recycling mit einem positiven Nutzen für das Klima eingesetzt werden?

Zur Einordnung der erarbeiteten Roadmap werden im Folgenden das Zielbild für das Jahr 2045 sowie der Status quo als Ausgangspunkt der Transformation beschrieben.

Zielbild 2045: Recycling als Schlüssel zur Kreislaufwirtschaft

Chemisches Recycling wächst von einem Anteil an der Rohstoffbasis für die Kunststoffproduktion von nahezu null Prozent im Jahr 2020 auf einen prognostizierten Anteil von 27 Prozent im Jahr 2045 an; der Anteil von mechanischem Recycling erhöht sich im selben Zeitraum auf etwa zehn Prozent.[26] Eine vollständig „circular ready“ ausgelegte Sammel- und Sortierinfrastruktur, in der KI-gestützte Systeme Kunststoffe in Echtzeit identifizieren, minimiert Verluste und führt Materialien gezielt den optimalen Recyclingpfaden zu. So werden zum Beispiel 95 Prozent der Kunststoffabfälle stofflich recycelt; thermische Verwertung erfolgt nur in klar definierten Ausnahmefällen. Verbleibende Emissionen werden mittels CCS (Carbon Capture and Storage) bzw. CCU klimaneutral erfasst.

Für sortenreine Abfallfraktionen bleibt auch 2045 das mechanische Recycling die bevorzugte Option. Bei nicht getrennt erfassten und sortierten Abfallfraktionen und Verbundmaterialien trotz konsequentem „design for recycling“ ergänzt chemisches Recycling den Kreislauf im industriellen Maßstab. Die

Gängige Recyclingverfahren

Beim mechanischen Recycling werden gesammelte, sortierte und gereinigte Kunststoffabfälle physikalisch zu Rezyklaten (Pellets) aufbereitet. Dabei bleiben chemische Strukturen erhalten und der Kohlenstoff bleibt im Material gebunden. Das mechanische Recycling ist bereits weitestgehend industriell etabliert.

Beim chemischen Recycling werden Kunststoffabfälle in ihre chemischen Grundbausteine in „Neuware“-Qualität zerlegt. Somit ergänzt es das mechanische Recycling insbesondere bei vermischten oder verunreinigten Stoffströmen und ermöglicht den Einsatz der zurückgewonnenen Stoffe für hochwertige Chemikalien und Kunststoffe.

Wichtige Verfahren des chemischen Recyclings:

- Solvolyse bzw. Depolymerisation, d. h. die Rückführung von Kunststoffen in ihre chemischen Bestandteile (Monomere),
- Pyrolyse, d. h. die thermische Zersetzung gemischter Kunststoffabfälle; das entstehende Pyrolyseöl kann nach Aufbereitung als Naphtha-Ersatz in Steamcrackern genutzt werden,
- Vergasung, d. h. die Umwandlung sehr heterogener oder minderwertiger Kunststoffströme in Syntheseprodukte (zum Beispiel Methanol); die Vergasung ist energieintensiv, aber robust gegenüber schlechter Materialqualität.

Roadmap Recycling

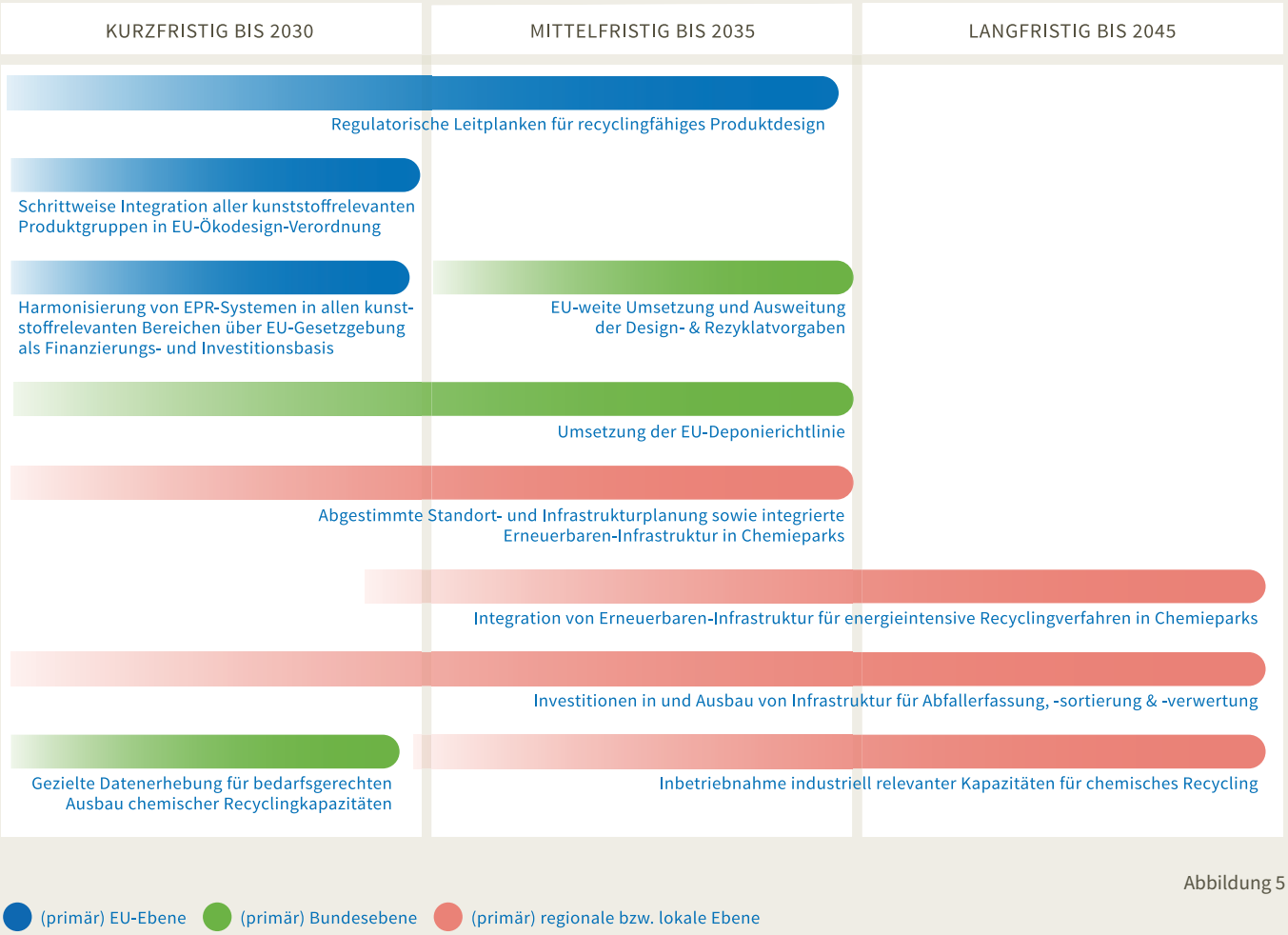


Abbildung 5

Anlagen für mechanisches oder chemisches Recycling arbeiten weitgehend emissionsfrei auf Basis elektrifizierter Reaktoren, erneuerbarer Energien und systematischer Abwärmenutzung.

Diversifizierte und regulierte Recycling-Feedstocks haben fossile Rohstoffe ersetzt. Verbindliche EU-Rezyklatquoten, robuste und nachvollziehbare Massenbilanzsysteme sowie verlässliche Labels sichern Transparenz und Qualität entlang der gesamten Wertschöpfung. Nationale Alleingänge wurden vermieden und für alle verbindliche Standards entwickelt. Eine neue Recyclinginfrastruktur schafft regionale Wertschöpfung, sichert Arbeitsplätze und steht für Innovation und Wettbewerbsfähigkeit. Stabile Investitionsstandards und wirkungsorientierte regulatorische Anreize gewährleisten eine kohärente Nutzungshierarchie für Kunststoffabfälle und lenken den Markt verlässlich in Richtung Kreislaufwirtschaft. Transparente Ökobilanzen, neutrale Gutachten auf Basis von Primärdaten sowie die Offenlegung relevanter Parameter definieren den Anwendungsbereich.

Status quo: fossiler Kohlenstoff in der linearen Verwertung

Fossile Kohlenstoffe stellen mit 94 Prozent den dominierenden Grundstoff der Kunststoffproduktion dar.[27] Produkte werden standardmäßig nicht recyclinggerecht entwickelt und produziert und begrenzen damit die stoffliche Verwertbarkeit, erhöhen Systemkosten und führen zu Lock-in-Effekten nicht verwertbarer Materialien.[28] Der in Produkten gebundene Kohlenstoff wird daher kaum im Kreislauf gehalten, sondern am Ende des Produktlebenszyklus überwiegend in die Atmosphäre emittiert. Mechanisches Recycling erreicht lediglich einen Anteil von sechs Prozent[29], vorhandene Recyclingpotenziale bleiben weitgehend ungenutzt. Im Jahr 2020 wurden in der Europäischen Union rund 40 Millionen Tonnen Kunststoffabfälle thermisch verwertet und über zehn Millionen Tonnen deponiert. Damit geht der Kohlenstoff aus nahezu 50 Millionen Tonnen jährlich gesammelter Kunststoffabfälle für die Kreislaufführung verloren;

nur etwa acht Millionen Tonnen pro Jahr gelangen in das mechanische Recycling. Chemisches Recycling spielt mit unter einem Prozent aktuell noch eine sehr geringe Rolle in der Rohstoffbasis einer nachhaltigen Kohlenstoffwirtschaft. 30.000 Tonnen wurden 2023 stofflich verwertet.[30]

Roadmap 2045: Schlüsselmaßnahmen und -meilensteine

Der Zeitstrahl in Abbildung 5 stellt die Ergebnisse der Workshops im Rahmen dieses Projekts dar mit wichtigen Meilensteinen und Hürden entlang des Transformationsprozesses hin zu Recycling als einem wichtigen Baustein für die resiliente und klimaneutrale Chemieindustrie im Jahr 2045. Zur Gewährleistung von langfristiger Zukunftsfähigkeit und Resilienz sind dabei zwei Prinzipien leitend: der Aufbau von Infrastrukturen und ein verlässlicher politischer Rahmen. Recycling kann nur dann wirksam zu einer Kreislaufwirtschaft beitragen, wenn Abfallerfassung, Produktdesign, Energieverfügbarkeit und Marktanreize systemisch zusammengedacht werden. Der Marktdurchbruch gelingt ab Mitte der 2030er-Jahre. Politische Entscheidungsverzögerungen, Akzeptanzprobleme und Fehlpriorisierungen wirken langfristig und gefährden insbesondere ab Mitte der 2030er-Jahre den Marktdurchbruch zirkulärer Geschäftsmodelle. Die zentralen Maßnahmen und Instrumente werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt:

1 Eine EU-weit harmonisierte, leistungsfähige Erfassung und Sortierung aller relevanten Abfallfraktionen ist die Voraussetzung für hochwertiges Recycling. Bereits bis Ende der 2020er-Jahre wird gezielt in den Ausbau und die Modernisierung der Infrastruktur für Abfallerfassung und -sortierung investiert. Bis Mitte der 2030er-Jahre wird eine weitgehend optimierte und automatisierte Infrastruktur etabliert.

2 Die Extended Producer Responsibility (EPR) wird bis Ende der 2020er-Jahre als Finanzierungs- und Investitionsbasis für Infrastruktur, Systemaufbau und Marktentwicklung etabliert. Ab den frühen 2030er-Jahren, mit Verstetigung bis in die Zeit nach 2035, sind EPR-Systeme EU-weit harmonisiert.

3 Bis Ende der 2020er-Jahre werden regulatorische Leitplanken für recyclinggerechtes Produktdesign eingeführt. In diesem Zeitraum erfolgen die schrittweise Integration kunststoffrelevanter Produktgruppen in die EU-Ökodesign-Verordnung sowie die Novellierung und Operationalisierung der Verpackungsverordnung.

4 In den frühen 2030er-Jahren werden industriell relevante chemische Recyclingkapazitäten in Betrieb genommen. Eine integrierte Standort- und Infrastrukturplanung stimmt den Ausbau systematisch auf Abfallverfügbarkeit, Energieinfrastruktur und bestehende Chemieparks bzw. -standorte ab und schafft die Voraussetzungen für eine industrielle Skalierung. Eine abgestimmte Standort- und Infrastrukturplanung trägt dazu bei, ineffiziente Einzelanlagen, höhere Emissionen und erhöhte Investitionsrisiken zu minimieren.

5 Fehlende Daten zu Stoffströmen erschweren bislang eine bedarfsgerechte Planung von Recyclingkapazitäten und Infrastrukturen. Daher werden bis Ende der 2020er-Jahre belastbare Entscheidungsgrundlagen geschaffen, indem systematisch Daten zu Mengen, Beschaffenheit und Qualität erhoben werden, um den Ausbau der Recyclingkapazitäten fundiert zu unterstützen.

Carbon Capture and Utilisation

Mit CCU wird CO_2 aus industriellen Prozessen oder der Atmosphäre als Rohstoff genutzt und in chemische Produkte wie Methanol, Ameisensäure oder Polyole überführt. Damit wird Kohlenstoff, der sonst emittiert würde oder in der Atmosphäre verbliebe, in Wertschöpfungsketten integriert.[31]

Allerdings sind die CO_2-Abscheidung sowie das Gewinnen reinen Kohlenstoffs aus CO_2 sehr energieintensiv. Die Herstellung von Kohlenstoff aus CO_2 erfordert oft große Mengen grünen Wasserstoffs, der wiederum große Mengen erneuerbaren Stroms und kostenintensive Infrastruktur benötigt und damit absehbar teuer bleibt. CO_2 aus industriellen Punktquellen zu gewinnen ist weniger energieaufwendig, trägt jedoch nicht zur Klimaneutralität bei, wenn das CO_2 aus kurzlebigen Produkten wie Kraftstoffen gleich wieder freigesetzt wird. Eine langfristige Festlegung von biogenem oder atmosphärischem CO_2 (d. h. über BECCU bzw. Direct Air Carbon Capture and Utilisation, DACCU) gelingt nur dann, wenn der gesamte Prozess mit erneuerbaren Energien geführt und der Kohlenstoff langfristig im Produkt festgelegt oder im Kreislauf in die Wertschöpfungskette zurückgeführt wird.

Trotz dieser Einschränkungen bleibt CCU als zusätzliche Kohlenstoffquelle insbesondere in integrierten Chemieclustern relevant, da die Chemieindustrie auf Kohlenstoff aus diversen nachhaltigen

Roadmap CCU



Abbildung 6

Quellen angewiesen sein wird. Die nachfolgende Analyse konzentriert sich deshalb auf die Leitfrage:

> Welchen Beitrag kann CCU zur Versorgung der Chemieindustrie mit Kohlenstoff leisten?

Zielbild 2045: begrenzter Einsatz in einer priorisierten Kreislaufwirtschaft

Eingesetzt wird CCU im Jahr 2045 vor allem für Produkte mit langer Kohlenstoffspeicherung und ergänzt Biomasse sowie mechanisches und chemisches Recycling, die weiterhin Priorität haben. Die Kreislaufführung von Kohlenstoff aus Abfallverbrennung oder atmosphärischem CO_2 wird nur nachrangig genutzt, wenn andere Potenziale ausgeschöpft sind. Aufgrund andauernd hoher Kosten für grünen Wasserstoff ist die heimische CCU-basierte Produktion von Basischemikalien weniger wirtschaftlich als diejenige auf Grundlage von Biomasse, Recycling oder dem Import grüner Vorprodukte.

Deutschland ist trotz begrenzter Einsatzfelder ein Technologietreiber, der in Forschung und Entwicklung (F&E) in diesem Bereich investiert. Allerdings werden diese Technologien vorrangig in Regionen mit günstigeren Bedingungen für die Erzeugung erneuerbarer Energien exportiert. An ausgewählten Standorten wird in Pilot- und Demonstrationsprojekten CO_2 mit erneuerbarem Wasserstoff zu Methanol umgesetzt, beispielsweise bei der Vergasung von Klärschlamm oder zur Kraftstoffproduktion. Kraftstoffe, Methanol und High-Value Chemicals (HVCs) werden vorrangig aus internationalen CCU-Routen importiert, insbesondere aus Regionen mit günstigen Bedingungen für die Erzeugung grünen Stroms.

Status quo: Spezialanwendungen in kleinem Maßstab

Gegenwärtig nimmt CCU in der Chemieindustrie noch eine sehr begrenzte Rolle ein. Die Technologie befindet sich in einer frühen Skalierungs- und Marktentwicklungsphase. Dabei steigt die CCU zugedachte Bedeutung mit der zunehmenden Diskussion über die Ausgestaltung der finalen Phase des europäischen Emissionshandels. Hier soll der Einsatz von CCU helfen, unvermeidbare Prozessemissionen zu nutzen, anstatt sie in die Atmosphäre zu entlassen.

Da das größte wirtschaftliche Potenzial für einen Einsatz von CCU in kurzen Wertschöpfungsketten gesehen wird, gibt es einzelne Projekte bzw. Projektplanungen, in denen CO_2-Quellen

durch Pipelines mit CO_2-Verwertern verbunden werden sollen, wie etwa das gemeinsame → „CAP2U“-Projekt von Heidelberg Materials und Linde in Lengfurt.

Roadmap 2045: Schlüsselmaßnahmen und -meilensteine

Der Zeitstrahl in Abbildung 6 stellt die Ergebnisse der Analysen im Rahmen dieses Projekts dar mit wichtigen Meilensteinen und Hürden auf dem Weg zu einem Einsatz von CCU als Bestandteil einer erneuerbaren Kohlenstoffwirtschaft im Jahr 2045.

Für einen bedarfsgerechten und zweckmäßigen Einsatz von CCU sind zwei Grundsätze maßgeblich: Erstens erfordert der Hochlauf zunächst klare regulatorische, bilanzielle und systemische Rahmenbedingungen, um Fehlanreize und Überförderung zu vermeiden. Zweitens können CCU-basierte Wertschöpfungsketten nur entstehen, wenn ausreichend grüne Energie, geeignete Infrastruktur und funktionierende Märkte verfügbar sind. Klimaneutral ist CCU nur dann, wenn die gesamte Prozesskette mit erneuerbaren Energien betrieben wird. Industrie-Hubs und Clusterstrukturen bieten hierfür einen vielversprechenden Ansatz.

Im Folgenden sei das Augenmerk auf wesentliche Meilensteine und entsprechende Maßnahmen gerichtet, die sich ausschließlich auf CCU beziehen:

1 Um klare politische Rahmenbedingungen für den Einsatz von CCU-Technologien in Deutschland zu schaffen, wird bis Ende der 2020er-Jahre gesetzlich geregelt, unter welchen Bedingungen von einer langfristigen Bindung von CO_2 durch CCU gesprochen werden bzw. wann CCU als Negativemission gelten kann. Dieser politische Rahmen ist sektorübergreifend kohärent, etwa zwischen Anwendungen in der Chemie, in der Baustoff- oder der Kraftstoffindustrie.

2 Bis Mitte der 2030er-Jahre sind die erneuerbaren Energien so weit ausgebaut, dass sie in relevanten Mengen auch für CCU verfügbar sind.

3 Der Einsatz von CCU-Technologien wird vorrangig in CO_2-Clustern als lokal organisierten Kreislaufsystemen für CO_2 konzipiert. Ab Ende der 2020er-Jahre werden in den Clustern Abscheidung, Einspeisung, Bündelung, Transport und Verwertung von CO_2 effizient aufeinander abgestimmt und notwendige Infrastrukturen gemeinsam genutzt.

Schlüsselmaßnahmen für den Hochlauf erneuerbarer Kohlenstoffquellen

Parallel zur Förderung einer ausreichenden und an Nachhaltigkeitskriterien geknüpften Rohstoffbasis werden neue Instrumente eingesetzt, die die Defossilierung mit erneuerbaren Kohlenstoffen im Jahr 2045 möglich machen.

Grüne Leitmärkte

Grüne Leitmärkte ermöglichen den Hochlauf und die Skalierung der erneuerbaren Kohlenstoffwirtschaft. Um Investitionen gezielt zu aktivieren, gibt es einen eigenständigen Marktrahmen, der die Nachfrage nach produktgebundenen erneuerbaren Kohlenstoffen systematisch fördert. Grüne Leitmärkte schaffen verlässliche Absatzperspektiven und reduzieren Investitionsrisiken, sodass Innovationen schneller in die industrielle Anwendung überführt werden. Eine zentrale Rolle spielt dabei die öffentliche Beschaffung. Sie wird gezielt auf Produkte mit erneuerbaren Kohlenstoffanteilen gelenkt, fungiert als Frühmarkt und trägt wesentlich dazu bei, neue Standards in der industriellen Produktion zu etablieren.

Ergänzend wird die Nachfrage durch Quotenregelungen skaliert. Durch die Festlegung von Mindestanteilen erneuerbarer Kohlenstoffquellen in ausgewählten Produktgruppen wird die Marktdurchdringung systematisch erhöht. Die Quotenregelung verzahnt sich mit den bestehenden regulatorischen Rahmenwerken wie der Ökodesign-Verordnung für nachhaltige Produkte (ESPR), der Verpackungsverordnung (PPWR) oder der Altfahrzeugrichtlinie, um kohärente und wirksame Anreize zu schaffen.

Klare ökologische Leitplanken sichern die Nachhaltigkeit ab. Mit wachsender Nachfrage besteht die Gefahr, dass erneuerbare Kohlenstoffquellen verstärkt aus Drittstaaten importiert werden, ohne dass dort vergleichbare Umweltstandards gelten. Um Verlagerungseffekte und ökologische Fehlsteuerungen zu vermeiden, wird die Einhaltung verbindlicher Nachhaltigkeitskriterien transparent nachgewiesen. Einheitliche Zertifizierungs- und Labelsysteme für klimafreundliche Chemieprodukte leisten hierzu einen wichtigen Beitrag, indem sie Umweltwirkungen entlang des gesamten Lebenszyklus abbilden und vergleichbar machen. Vorbilder existieren bereits in anderen Industriebereichen,

Roadmap Kohlenstoffwirtschaft

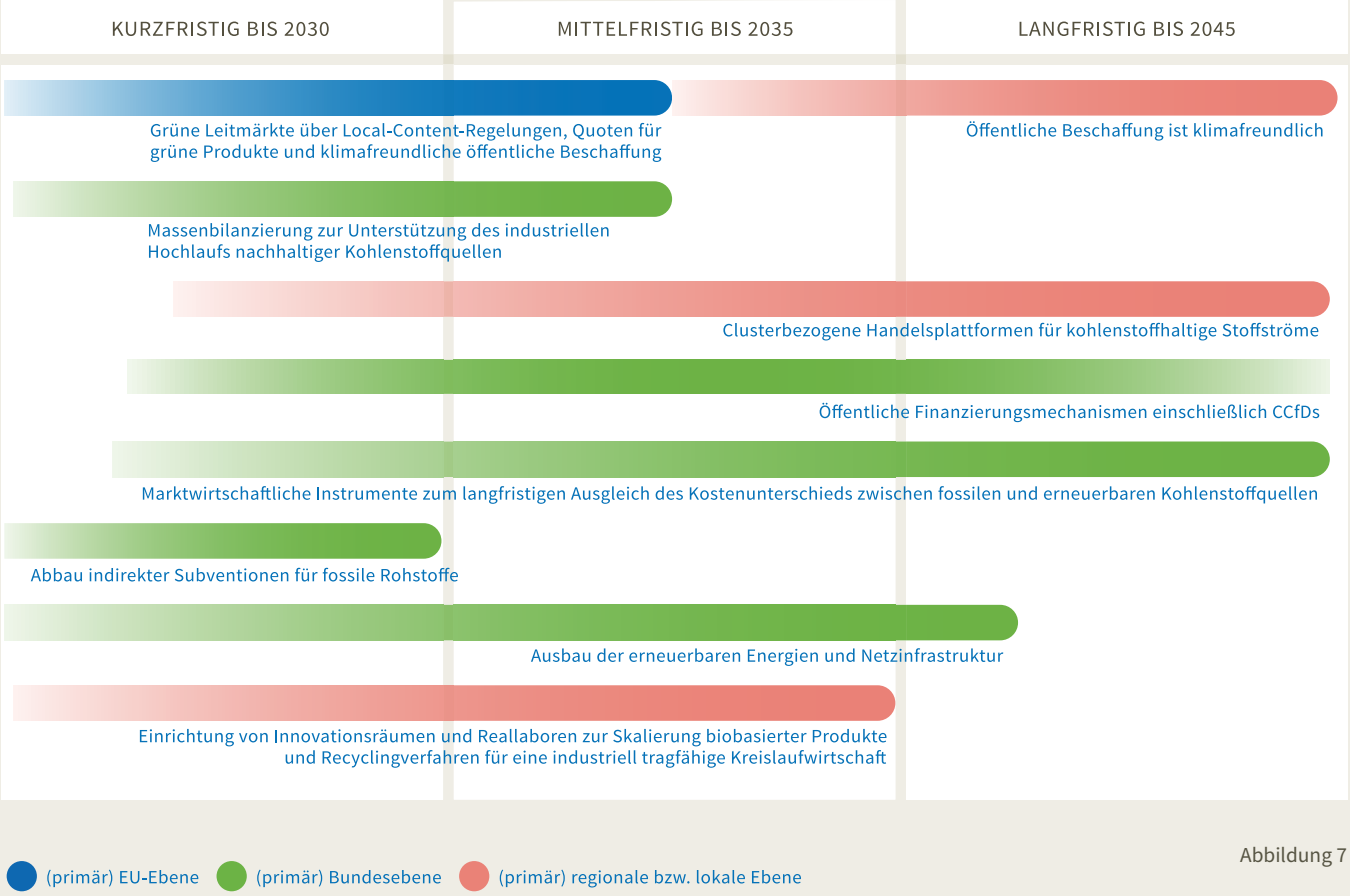


Abbildung 7

etwa im Stahlsektor mit dem Low Emission Steel Standard (LESS), der direkte und indirekte Emissionen aus Vorleistungen und Transport berücksichtigt.

Massenbilanzierung

Für die praktische Umsetzung des Hochlaufs dient die Massenbilanzierung als Übergangsinstrument. Sie ermöglicht die rechnerische Zuordnung unterschiedlicher Kohlenstoffanteile in bestehenden, stofflich nicht getrennten Produktionsprozessen und unterstützt damit die schrittweise Integration nachhaltiger Kohlenstoffquellen in etablierte industrielle Strukturen. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass in der Übergangsphase solche Unternehmen, die vollständig aus erneuerbaren Rohstoffquellen produzieren, weiterhin einen höheren Aufwand haben und durch die Massenbilanzierung nicht benachteiligt werden dürfen, etwa in der Verbraucherkommunikation.

Clusterbezogene Handelsplattformen

Um Angebot und Nachfrage nach erneuerbaren Kohlenstoffquellen niedrigschwellig miteinander zu verknüpfen, werden Modelle wie clusterbezogene Handelsplattformen für kohlenstoffhaltige Stoffströme gefördert. Hierfür gibt es bereits erste Konzepte wie das im Projekt „IN4climate.RR“ entwickelte „Trade4climate“[32], in dem Informationen zu Mengen, Qualitäten und regionaler Verfügbarkeit erneuerbarer Kohlenstoffquellen mit der industriellen Nachfrage verknüpft werden sollen.

Finanzierungsmechanismen und Förderinstrumente

Zur Abmilderung der strukturellen Benachteiligung nachhaltiger gegenüber fossilen Kohlenstoffquellen werden Finanzierungsmechanismen und Förderinstrumente entlang der gesamten Wertschöpfungskette etabliert. Sie schaffen Investitionssicherheit und Skalierung von der Rohstoffbereitstellung bis hin zum Endprodukt. Zur Absicherung von Investitionen tragen insbesondere Carbon Contracts for Difference (CCfDs) bei, indem sie

Preisdifferenzen zugunsten von Produktionsprozessen auf Basis erneuerbarer Kohlenstoffquellen ausgleichen. Dedizierte F&E-Förderprogramme ermöglichen Pilotierung und Skalierung sowie den langfristigen Aufbau von Technologieführerschaft und Expertise.

Kostenausgleich

Unverzichtbar ist es, den Kostenunterschied zwischen fossilen und erneuerbaren Kohlenstoffquellen auch langfristig marktwirtschaftlich auszugleichen. Eine Möglichkeit besteht in einem Zertifikatehandel analog dem ETS, der den Gehalt von fossilen oder erneuerbaren Kohlenstoffen in Produkten bewertet und Unternehmen verpflichtet, den fossilen Rohstoffgehalt über Zertifikate zu decken, die für die Produktion mit erneuerbaren Kohlenstoffen ausgegeben werden. Eine schrittweise Verknappung der fossilen Zertifikate reizt den Umstieg auf erneuerbare Quellen gezielt an und entlohnt direkt die Produktion mit erneuerbaren Rohstoffen. Die Einnahmen aus dem Zertifikatehandel kommen den Investitionen und der Finanzierung der erneuerbaren Kohlenstoffquellen zugute.

Ein weiteres Instrument ist die Bepreisung fossiler Kohlenstoffanteile in (End-)Produkten oder die Einführung eines „Chemieintensitätsindexes“ mit gezielter Reinvestition der Einnahmen, um den Auf- und Ausbau einer erneuerbaren Kohlenstoffwirtschaft zu finanzieren.

Subventionsabbau

Um die Rentabilitätslücke zwischen fossilen und erneuerbaren Rohstoffquellen weiter zu schließen, werden indirekte Subventionen für fossile Rohstoffe wie steuerliche Begünstigungen für Naphtha oder Erdgas sowie Anreize für die thermische Nutzung von Biomasse insbesondere in Gebäudeheizungen abgebaut.

Ausbau der Netzinfrastruktur

Ein gezielter Ausbau der Netzinfrastruktur, der dezentral, systemdienlich und in räumlicher Nähe zu Chemie- und Industrieparks erfolgt, stellt eine zuverlässige Versorgung mit erneuerbarem Strom sicher. Ohne eine deutliche Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien bis Mitte der 2030er-Jahre können klimaneutrale Produktionspfade weder technisch umgesetzt noch wirtschaftlich betrieben werden. Planung und Ausbau erneuerbarer Energien müssen in einem integrierten System mit Wasserstoff und CO_2 Infrastruktur sowie mit europäischen Transport und Nutzungsnetzen erfolgen.

Innovationsräume und Reallabore

Da die Skalierung von biobasierten Produkten, Recyclingverfahren und CCU Prozessen für eine industriell tragfähige Kreislaufwirtschaft in den 2020er-Jahren noch nicht ausreichend ausgereift ist, werden Innovationsräume und Reallabore eingerichtet.



6 Politische Empfehlungen für eine zukunftsfähige Chemie 2045

Aus den vorangegangenen Analysen der strukturellen Herausforderungen, Transformationspfade und Zielkonflikte leiten sich die folgenden politischen Empfehlungen ab. Sie sollen dazu beitragen, verlässliche Leitplanken für die Transformation zu setzen und Investitionen in klimaneutrale Produktionsweisen zu beschleunigen.

1 „Zukunftskommission Chemie“ gründen

Die Bundesregierung sollte zeitnah eine Zukunftskommission Chemie als stehendes Gremium unter Beteiligung von Politik, Wirtschaft, Wissenschaft, Gewerkschaften und Zivilgesellschaft als Governance-Mechanismus für die Stabilisierung und Weiterentwicklung der Chemieindustrie in Deutschland einberufen. Zu dessen vordringlichen Aufgaben gehört die Erarbeitung einer Resilienz- sowie einer Importstrategie 2045.

2 Langfristige CAPEX-/OPEX-Förderung ausbauen

Die energetische und stoffliche Transformation der Chemieindustrie sollte durch ein kohärentes Gesamtpaket aus langfristigen Förderinstrumenten wie den Klimaschutzverträgen abgesichert werden. Entscheidend wird es sein, die notwendige gesellschaftliche Akzeptanz für eine langfristige Finanzierung der erhöhten Kosten von Anfang an mitzudenken.

3 Gestehungskosten gezielt reduzieren

Um den Kostennachteil der deutschen Industrie gegenüber globalen Wettbewerbern zu begrenzen, sollte ein ganzheitliches Maßnahmenpaket zur Senkung der Gestehungskosten umgesetzt werden. Hierzu zählen die Erschließung nachhaltiger Kohlenstoffquellen, der flächendeckende Ausbau von erneuerbaren Energien sowie der Aus- und Aufbau von Strom-, Wasserstoff- und CO_2-Infrastrukturen. Innovative Modelle wie die Tripartite Energy Contracts sollten dabei prioritär geprüft werden.

4 Grüne Leitmärkte einrichten

Zum Aufbau einer grünen Chemieproduktion sollten grüne Leitmärkte etabliert werden, die durch einen eigenständigen Marktrahmen verlässliche Nachfrage nach erneuerbaren, produktgebundenen Kohlenstoffquellen sichern. Zentral sind dabei eine strategisch ausgerichtete öffentliche Beschaffung als Frühmarkt sowie verbindliche Quoten für Mindestanteile erneuerbarer Kohlenstoffe in geeigneten Produktgruppen. Es handelt sich dabei um Sofortmaßnahmen mit unmittelbarer Wirkung.

5 Marktwirtschaftliche Instrumente entwickeln

Für die langfristige marktwirtschaftliche Finanzierung des Preisunterschieds zwischen fossilen und erneuerbaren Rohstoffen bedarf es neuer Instrumente. Dazu zählt zum einen der Vorschlag, analog zum ETS ein System für die stoffliche Nutzung von Kohlenstoff zu etablieren. Zum anderen kommt eine Endverbrauchsabgabe in Betracht, die entweder fossile Kohlenstoffanteile in (End-)Produkten bepreist oder über einen „Chemikalienintensitätsindex“ die gezielte Reinvestition der Einnahmen in die industrielle Transformation ermöglicht.

6 Nationale Biomassestrategie beschließen

Zur Sicherstellung einer nachhaltigen und ressourceneffizienten Biomassenutzung sollte eine nationale Biomassestrategie beschlossen werden. In dieser Strategie sollte die stoffliche Nutzung gegenüber der energetischen priorisiert und Nutzungskonkurrenzen begrenzt werden. Ein transparentes Biomassemonitoring erfasst Biomassepotenziale, Stoffströme und Umweltwirkungen digital. Es schafft so die Grundlage für eine nachhaltige und wirksame Steuerung der Biomassenutzung. Die energetische Nutzung von Biomasse sollte in der Industrie konsequent auf schwer substituierbare Anwendungen beschränkt werden und nur nachrangig und im Sinne der Kaskadennutzung erfolgen; in Gebäude und Verkehr sollte auf Elektrifizierung statt auf Biomasse gesetzt werden.

7 Recyclingkapazitäten strategisch ausbauen

Die Bundesregierung sollte Erfassung, Sortierung, recyclinggerechtes Produktdesign und chemische Recyclingkapazitäten EU-weit abgestimmt voranbringen und durch verlässliche Stoffstromdaten unterlegen, damit hochwertige Kreisläufe entstehen, Investitionen planbar werden und Recyclingkapazitäten bedarfsgerecht wachsen können.

8 Erneuerbare Energien hochfahren

CCU kann nur dann klimaneutral sein, wenn die gesamte Prozesskette von erneuerbaren Energien gespeist wird. Dies ist eine zentrale Herausforderung und Begrenzung der CCU-Technologien in Deutschland. Um innovative Geschäftsmodelle voranzubringen, bieten sich Industrie-Hubs und Clusterstrukturen an.

9 Handelsplattformen aufbauen

Um Angebot und Nachfrage nach erneuerbaren Kohlenstoffquellen einfacher zusammenzuführen, sollten Modelle wie clusterbezogene Handelsplattformen für kohlenstoffhaltige Stoffströme gefördert werden. Erste Konzepte liegen bereits vor, etwa das im Projekt „IN4climate.RR“ entwickelte „Trade4climate“, das Informationen zu Mengen, Qualitäten und regionaler Verfügbarkeit erneuerbarer Kohlenstoffquellen mit der industriellen Nachfrage verknüpfen soll.

10 Verbundstandorte fördern und Innovationsräume aufbauen

Die gezielte Förderung von zukunftsfähigen Verbundstandorten in Deutschland sollte sich als roter Faden durch alle Maßnahmen für den Erhalt und die grüne Transformation der Chemieindustrie in Deutschland ziehen. Die Bundesregierung sollte zudem Förderprogramme anbieten, die das Skalieren von Prozessen auf Basis erneuerbaren Kohlenstoffs in den industriellen Maßstab ermöglichen. Neben finanziellen Anreizen sollten regionale Innovations- und Skalierungsräume geschaffen werden, um bislang unzureichend genutzte Technologiepotenziale besser auszuschöpfen.

Fazit: Der Wandel zu einer klimaneutralen Chemieindustrie gelingt nur mit verlässlichen politischen Rahmenbedingungen, gezielter Förderung und neuen Marktmechanismen, um Wettbewerbsfähigkeit, Resilienz und Nachhaltigkeit langfristig zu sichern.



7 Schlussbemerkungen und Ausblick

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Transformation der Chemieindustrie nur dann erfolgreich sein kann, wenn neben den vorher beschriebenen politischen, regulatorischen und technologischen Fragen auch ihre sozialen und kommunikativen Dimensionen gleichrangig berücksichtigt werden. Bislang wird die Transformation der Chemieindustrie in politischen und wirtschaftlichen Debatten vor allem als wirtschaftliche, regulatorische und technologische Herausforderung beschrieben. Deutlich weniger Aufmerksamkeit erhält die soziale Dimension des Wandels. Die notwendige Umstellung von Prozessen, Wertschöpfungsketten und Geschäftsmodellen greift tief in bestehende industrielle Strukturen, Beschäftigungsverhältnisse und regionale Wirtschaftsgefüge ein. Ohne eine bewusste Berücksichtigung dieser sozialen Auswirkungen droht die Transformation nicht nur an praktischen Umsetzungsproblemen zu scheitern, sondern auch gesellschaftlichen Widerstand hervorzurufen.

Eine erfolgreiche Transformation setzt daher zwingend voraus, dass Industrie, Politik, Gewerkschaften, Wissenschaft und Zivilgesellschaft in einen offenen, transparenten und kontinuierlichen Dialog treten. Dabei sollten nicht allein etablierte Unternehmen berücksichtigt werden, sondern auch neue innovative Unternehmen und biotechnologische Start-ups. Veränderungsprozesse müssen verständlich gemacht, Zielkonflikte benannt und Unsicherheiten ehrlich kommuniziert werden. Nur so entsteht Vertrauen. Gleichzeitig gilt es, betroffene Beschäftigte und Regionen aktiv einzubinden und Perspektiven aufzuzeigen, etwa durch Qualifizierungs- und Weiterbildungsangebote, neue Leitmärkte und sozial ausgewogene Übergangsmodelle.

Kommunikation wird damit zu einem zentralen Steuerungsinstrument der Transformation.

Letztlich entscheidet die gesellschaftliche Akzeptanz darüber, ob die Transformation in der notwendigen Geschwindigkeit und Tiefe gelingt. Eine sozialverträgliche Ausgestaltung ist kein nachrangiger Aspekt, sondern eine zentrale Voraussetzung für den Erfolg. Sie erfordert eine frühzeitige Integration in politische Strategien sowie den klaren Willen aller Beteiligten, den Wandel gemeinsam zu gestalten.

Der vorliegende Bericht macht darüber hinaus deutlich, dass trotz wachsender politischer Aufmerksamkeit für den Erhalt und die Transformation der Chemieindustrie weiterhin erhebliche Wissenslücken bestehen und für viele Herausforderungen keine schlüssigen Konzepte vorliegen. Um eine wirksame, evidenzbasierte und langfristig tragfähige Umsetzung der beschriebenen politischen Maßnahmen zu ermöglichen, sind daher vertiefende Analysen in mehreren zentralen Bereichen erforderlich.

Ein erster Schwerpunkt betrifft die sicherheitspolitische Relevanz einer resilienten Chemieindustrie in Deutschland. Wie die Lehren aus den frühen Phasen der Coronakrise zeigen, treten kritische Abhängigkeiten oft erst zutage, wenn Wertschöpfungsketten unerwartet unter Druck geraten. Um diese Abhängigkeiten bewerten zu können, bedarf es jedoch einer Datengrundlage, die aus betriebswirtschaftlichen und wiederum sicherheitspolitischen Gründen (aktuell) nicht verfügbar ist. Bei allen berechtigten Bedenken entzieht diese fehlende Transparenz politischen Entscheidungsträger*innen die Grundlage dafür, Entscheidungen zu treffen, die die Transformation der Chemieindustrie ambitioniert und kohärent voranbringen würden.

Auch zu Maßnahmen für den Carbon-Leakage-Schutz in Industriezweigen, für die der CBAM in seiner jetzigen Ausgestaltung eher unzureichend scheint, sind weitere Analysen notwendig. Hier besteht insbesondere weiterer Bedarf an Konzepten, die mit einem maßvollen regulatorischen Aufwand verbunden sind und dabei breit greifen, einen möglichst umfassenden Carbon-Leakage-Schutz herstellen und die intendierte globale Lenkungswirkung des CBAM erhalten.

Darüber hinaus fehlen vertiefende Analysen und Szenarienplanungen zur Flächennutzung in Deutschland, die für ein Auflösen von Nutzungskonkurrenzen und aufgrund des absehbar höheren Flächenbedarfs für Biomasse in der stofflichen Nutzung notwendig sind. Ein kohärentes Konzept für den Hochlauf der Biomassenutzung müsste auch die Frage beantworten, wie Flächenbedarfe zur Futtermittelproduktion langfristig, nachhaltig und sozialverträglich reduziert werden können.

Nicht zuletzt ist die grüne Transformation der Chemieindustrie, wie oben beschrieben, eng mit Fragen der sozialen Gerechtigkeit verbunden, die im Laufe des Projekts immer wieder betont wurden. Zum einen wird die Transformation einen Wandel auf dem Arbeitsmarkt mit sich bringen, etwa wenn Teile der Grundstoffindustrie in Länder mit niedrigeren Stromkosten abwandern. Bislang fehlen jedoch belastbare Erkenntnisse, mit welchen Änderungen der Beschäftigungsstruktur tatsächlich zu rechnen ist. Zum anderen hemmt die Sorge um ein Ansteigen der Lebenshaltungskosten die Akzeptanz der grünen Transformation. Obwohl es verschiedene Berechnungen zu erwartbaren Erhöhungen von Verbraucher*innenpreisen gibt, lösen diese Analysen bisher nur unzureichend auf, wie der Sorge um Preiserhöhungen entgegengewirkt oder wiederum eine Zahlungsbereitschaft für grüne Produkte hergestellt werden kann.

Die Chemieindustrie ist komplex, hoch integriert und eine Schlüsselindustrie in Deutschland. Es ist Zeit, dass sie die gesellschaftliche Aufmerksamkeit erhält, die ihr gebührt. Eine erfolgreiche Transformation der Chemie ist unverzichtbar und stärkt ganz Deutschland und Europa.



Danksagung

Wir danken den Vertreter*innen der folgenden Organisationen für ihre großzügige Beteiligung an der vorliegenden Analyse und ihren wertvollen Beitrag zum erfolgreichen Verlauf des Projekts:

- Agora Agrar
- Agora Industrie
- BASF
- Bellona Deutschland
- Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND)
- Bundesakademie für Sicherheitspolitik
- Carbon Minds
- Deutsche Energie-Agentur (dena)
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt
- Deutsche Umwelthilfe
- Energy and Climate Policy and Innovation Council (EPICO)
- Forum Umwelt & Entwicklung
- Germanwatch
- Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie und Energie (IGBCE)
- NRW.Energy4Climate
- Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
- PtX Lab Lausitz
- Stiftung Denkfabrik Klimaneutralität
- Verband der Chemischen Industrie
- Wacker Chemie
- Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie
- WWF Deutschland
- Zentrum für die liberale Moderne

Für die Prozessbegleitung und methodische Unterstützung bei der Erarbeitung der vorliegenden Analyse bedanken wir uns herzlich bei Marcel Reichmuth und Marian Wuntke.

Wir danken der European Climate Foundation für die finanzielle Förderung und die konstruktive Unterstützung bei der Durchführung dieses Projekts.

Quellenverzeichnis

1 Umweltbundesamt (2025): Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland (Zugriff am: 18.05.2026).

2 Wuppertal Institut (2025): Klimaneutrale Industrie im Jahr 2045 – Zielbild, zentrale Voraussetzungen und gesellschaftliche Implikationen.

3 Agora Industrie, Carbon Minds und Fraunhofer IKTS (2025): Innovationen für morgen: Chancen für eine klimaneutrale Chemieindustrie. Wie die Abkehr von fossilen Rohstoffen die Resilienz des Industriestandorts steigert und neue Jobs schafft.

4 Agora Think Tanks (2024): Klimaneutrales Deutschland. Von der Zielsetzung zur Umsetzung.

5 IN4climate.RR (2024): Trade4climate. Ein Konzeptpapier des Zukunftslabors Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft des Projektes IN4climate.RR.

6 Agora Industrie (2023): Chemie im Wandel. Die drei Grundpfeiler für die Transformation chemischer Wertschöpfungsketten.

7 Fleiter, T., Rehfeldt, M., Hirzel, S., Neusel, L., Aydemir, A., Schwotzer, C., Kaiser, F., Gondorf, C., Hauch, J., Hof, J., Sankowski, L., Langhorst, M. (2023): CO2-neutrale Prozesswärmeerzeugung – Umbau des industriellen Anlagenparks im Rahmen der Energiewende: Ermittlung des aktuellen SdT und des weiteren Handlungsbedarfs zum Einsatz strombasierter Prozesswärmeanlagen. Umweltbundesamt, Texte | 161/2023, Forschungskennzahl 3718410030.

8 Wuppertal Institut (2025): Klimaneutrale Industrie im Jahr 2045 – Zielbild, zentrale Voraussetzungen und gesellschaftliche Implikationen.

9 Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI) (2025): Daten und Fakten zu Energie, Rohstoffe, Preise. Verfügbar unter: https://www.vci.de/die-branche/zahlen-berichte/vci-statistik-grafiken-energie-klima-rohstoffe-chemie.jsp (Zugriff am: 19.06.2026).

10 Deutscher Bundestag (2026): Kostenlose CO2-Zertifikate für Chemieindustrie, heute im bundestag (hib). Verfügbar unter: https://www.bundestag.de/presse/hib/kurzmeldungen-1157832 (abgerufen am 18.05.2026).

11 Europäische Kommission (2025): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Action Plan for Affordable Energy – Unlocking the true value of our Energy Union to secure affordable, efficient and clean energy for all Europeans (COM(2025) 79 final). Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:52025DC0079 (Zugriff am: 18.05.2026).

12 Wuppertal Institut (2025): Klimaneutrale Industrie im Jahr 2045 – Zielbild, zentrale Voraussetzungen und gesellschaftliche Implikationen.

13 Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI) (2025): Daten und Fakten zu Energie, Rohstoffe, Preise. Verfügbar unter: https://www.vci.de/die-branche/zahlen-berichte/vci-statistik-grafiken-energie-klima-rohstoffe-chemie.jsp (Zugriff am: 19.06.2026).

14 Agora Industrie (2023): Chemie im Wandel. Die drei Grundpfeiler für die Transformation chemischer Wertschöpfungsketten.

15 Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena) (2025): Gezielte Nutzung von Biomasse für eine klimaneutrale und wettbewerbsstarke Industrie.

16 Agora Industrie (2023): Chemie im Wandel. Die drei Grundpfeiler für die Transformation chemischer Wertschöpfungsketten.

17 Makepa, D. C., & Chihobo, C. H. (2024): Barriers to commercial deployment of biorefineries: A multi-faceted review of obstacles across the innovation chain. Heliyon, 10(12).

18 Mousavi-Avval, S. H., Sahoo, K., Nepal, P., Runge, T., & Bergman, R. (2023): Environmental impacts and techno-economic assessments of biobased products: A review. Renewable and sustainable energy reviews, 180, 113302.

19 Makepa, D. C., & Chihobo, C. H. (2024): Barriers to commercial deployment of biorefineries: A multi-faceted review of obstacles across the innovation chain. Heliyon, 10(12).

20 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (2025): Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland, Statistik Stand 2025. Verfügbar unter: https://www.fnr.de/fileadmin/Statistik/Statistikbericht_der_FNR_2025_web.pdf (Zugriff am: 18.05.2026).

21 Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI) / Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI) (2024): Wie die Transformation der Chemie gelingen kann. Ein Update.

22 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (2025): Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland, Statistik Stand 2025. Verfügbar unter: https://www.fnr.de/fileadmin/Statistik/Statistikbericht_der_FNR_2025_web.pdf (Zugriff am: 18.05.2026).

23 Umweltbundesamt (2026): Erneuerbare Energien in Zahlen – Verkehr. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#verkehr (Zugriff am: 19.05.2026).

24 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (2025): Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland, Statistik Stand 2025. Verfügbar unter: https://www.fnr.de/fileadmin/Statistik/Statistikbericht_der_FNR_2025_web.pdf (Zugriff am: 18.05.2026).

25 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (2025): Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland, Statistik Stand 2025. Verfügbar unter: https://www.fnr.de/fileadmin/Statistik/Statistikbericht_der_FNR_2025_web.pdf (Zugriff am: 18.05.2026).

26 Wuppertal Institut (2025): Klimaneutrale Industrie im Jahr 2045 – Zielbild, zentrale Voraussetzungen und gesellschaftliche Implikationen.

27 Wuppertal Institut (2025): Klimaneutrale Industrie im Jahr 2045 – Zielbild, zentrale Voraussetzungen und gesellschaftliche Implikationen.

28 Schüler, K., Wilhelm, J. (2023). Ermittlung des Anteils hochgradig recyclingfähiger systembeteiligungspflichtiger Verpackungen auf dem deutschen Markt. Umweltbundesamt, Texte | 78/2023.

29 Wuppertal Institut (2025): Klimaneutrale Industrie im Jahr 2045 – Zielbild, zentrale Voraussetzungen und gesellschaftliche Implikationen.

30 Umweltbundesamt (2025): Kunststoffabfälle. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/kunststoffabfaelle (Zugriff am: 18.05.2026).

31 Agora Industrie, Carbon Minds und Fraunhofer IKTS (2025): Innovationen für morgen: Chancen für eine klimaneutrale Chemieindustrie. Wie die Abkehr von fossilen Rohstoffen die Resilienz des Industriestandorts steigert und neue Jobs schafft.

32 N4climate.RR (2024): Trade4climate. Ein Konzeptpapier des Zukunftslabors Nachhaltige Kohlenstoffwirtschaft des Projektes IN4climate.RR.

Glossar

BECCS Bioenergy Carbon Capture and Storage
BECCU Bioenergy Carbon Capture and Utilisation
CAPEX Capital Expenditure
CBAM Carbon Border Adjustment Mechanism
CCfD Carbon Contract for Difference
CCS Carbon Capture and Storage
CCU Carbon Capture and Utilisation
DACCU Direct Air Carbon Capture and Utilisation
EPR Extended Producer Responsibility
ESPR Ecodesign for Sustainable Products Regulation
ETS EU Emissions Trading System
F&E Forschung und Entwicklung
HVC High-Value Chemical
IAA Industrial Accelerator Act
LESS Low Emission Steel Standard
LULUCF Land Use, Land Use-Change and Forestry
OPEX Operational Expenditure
PPWR Packaging and Packaging Waste Regulation
VCI Verband der Chemischen Industrie e. V.

Impressum

© 2026, NABU-Bundesverband,
1. Auflage 06/2026

NABU (Naturschutzbund Deutschland) e. V.
Charitéstraße 3, 10117 Berlin

Tel.: +49 (0)30.28 49 84-0
Fax: +49 (0)30.28 49 84-20 00
NABU@NABU.de, www.NABU.de

Text
Dr. Steffi Ober, Niels Thürigen, Tina Rose, Nicole Laut

Lektorat
Christian Jerger, ad litteras, Berlin

Redaktion
Marcel Wicha

Gestaltung
Cskw Berlin – www.cskw.de

Bildnachweis
S.1: chictype; S. 4: Martins Vanags; S. 5: Guido Rottmann,
S. 6: RonFullHD; S. 8: LeeJianbing; S.10: SeventyFour;
S.12: Scharfsinn86; S.18: Alnatura/Marc Doradzillo;
S. 30: Mimadeo; S. 32: GettyTim82; S. 34: W. Rolfes;
S. 40: Schroptschop



WIR SIND, WAS WIR TUN. DIE NATURSCHUTZMACHER*INNEN

Der NABU engagiert sich seit mehr als 125 Jahren mit Begeisterung und Kompetenz für die Natur. Damals wie heute ist der Erhalt von Arten und Lebensräumen das Ziel der NABU-Aktivitäten, mit dem Vogelschutz als traditionellem inhaltlichem Schwerpunkt. Doch das Spektrum der NABU-Arbeit geht heute weit über den klassischen Naturschutz hinaus: So setzt sich der Verband für eine nachhaltige Agrarpolitik ein, kämpft für den naturverträglichen Ausbau der erneuerbaren Energien und für den Schutz unserer Meere. Die heimischen Insekten sind dem NABU ebenso wichtig wie die letzten Schneeleoparden, der erfolgreiche Rückkehrer Wolf liegt uns genauso am Herzen wie die Regen- und Bergnebelwälder Äthiopiens und die dort lebenden Mantelaffen. Mit rund 980.000 Mitgliedern und Fördernden, mit 75.000 Ehrenamtlichen in bundesweit rund 2.000 Gruppen kann sich der NABU auf eine breite Basis stützen – ein solides Fundament für seine Arbeit, von der lokalen bis zur internationalen Ebene.

www.nabu.de