



DISKUSSIONSPAPIER

Auf dem Weg zur Klimaneutralität – Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten

Ergebnisse und Impulse aus einer Workshopreihe

In Kooperation mit:



Impressum

Herausgeber:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin

Tel: +49 (0)30 66 777-0
Fax: +49 (0)30 66 777-699

E-Mail: info@dena.de
Internet: www.dena.de

Autorinnen und Autoren:

Martin Albicker, dena
Dietmar Gründig, dena
Dorothea Horneber, dena
Dr. Lars Sorge, dena

Malte Harrendorf, Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE
Stephan Hoare, Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE

Dr. Rainer Quitzow, IASS Potsdam
Yana Zabanova, IASS Potsdam

Hinweis: Die Beiträge des IASS Potsdam wurden im Rahmen des Projektes „Geopolitik der Energietransformation: Implikationen einer internationalen Wasserstoffwirtschaft“ (GET Hydrogen) mit Mitteln des Auswärtigen Amtes gefördert.

Redaktion:

Barbara Schroeder, dena

Bildnachweise:

Titel – [shutterstock.com/Travel_mania](https://www.shutterstock.com/Travel_mania), S. 10 – [shutterstock.com/Photo-smile](https://www.shutterstock.com/Photo-smile), S. 13 – [shutterstock.com/Pop-Tika](https://www.shutterstock.com/Pop-Tika), S. 18 – [shutterstock.com/Gorodenkoff](https://www.shutterstock.com/Gorodenkoff), S. 20 – [shutterstock.com/ART-STOCK-CREATIVE](https://www.shutterstock.com/ART-STOCK-CREATIVE)

Stand:

2/2022

Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

Bitte zitieren als:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.) (dena, 2022): DISKUSSIONSPAPIER – Auf dem Weg zur Klimaneutralität - Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
2	Einleitung	5
3	Treiber und Effekte der Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten	6
4	Herausforderungen, Chancen und Potenziale im Kontext der Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten	9
4.1	„Renewables Pull“ und die deutsche Grundstoffindustrie	9
4.2	Chancen und Risiken für Verbundstandorte.....	11
4.3	Potenziale und Herausforderungen einer Kreislaufwirtschaft	11
4.4	Die besonderen Herausforderungen für KMU.....	12
4.5	Herausforderungen und Chancen für den Arbeitsmarkt.....	13
4.6	Neue Abhängigkeiten und geökonomische Herausforderungen	14
5	Handlungsfelder zur Gestaltung der Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten	15
5.1	Schutz vor Carbon Leakage und Green Leakage	15
5.2	Schaffung klimafreundlicher Nachfrage	16
5.3	Stärkung der Kreislaufwirtschaft	17
5.4	Unterstützung von Forschung, Innovation und Transformation.....	17
5.5	Unterstützung beim Wandel des Arbeitsmarkts.....	18
5.6	Aktive Begleitung des regionalen Strukturwandels	18
5.7	Vertiefung internationaler Kooperationen	19
5.8	Ausbau der Digitalisierung.....	20
6	Ausblick	22
	Literaturverzeichnis	23

1 Zusammenfassung

Gemeinsam mit der Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE (Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Industrie) sowie dem IASS (Institute for Advanced Sustainability Studies) Potsdam setzte die Deutsche Energie-Agentur (dena) im Herbst 2021 eine dreiteilige Workshopreihe um. Ziel war es, zentrale Aspekte der Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten vor dem Hintergrund der Klimaneutralität zu identifizieren. Die Diskussionen der Veranstaltungsteilnehmenden machten deutlich, wie vielschichtig und komplex das Thema ist. Neben der Dekarbonisierung und den damit einhergehenden notwendigen Veränderungen hinsichtlich eingesetzter Energieträger und Rohstoffe, verwendeter Verfahren, Prozesse und der Nachfrage nach bestimmten Endprodukten gibt es weitere Treiber für die Veränderung von Wertschöpfungsketten, allen voran die Digitalisierung. Aber auch Klimawandeleffekte und andere Umweltprobleme sowie geopolitische Rivalitäten, soziale Ungleichheit und der demografische Wandel wurden als treibende Faktoren für Veränderungen identifiziert. Durch diese Entwicklungen ergeben sich Chancen und Herausforderungen auf unterschiedlichen Ebenen. Im Rahmen der Workshopreihe haben sich sechs Themenfelder herauskristallisiert:

- der Effekt des „Renewables Pull“ auf die Grundstoffindustrie
- die Chancen und Risiken für Verbundstandorte
- die Potenziale einer Kreislaufwirtschaft
- die besonderen Herausforderungen für KMU
- die Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt
- neu entstehende Abhängigkeiten und geoökonomische Herausforderungen

Um den Herausforderungen begegnen, die Chancen nutzen und die Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten gestalten zu können, gibt es verschiedene Handlungsfelder für die Politik. Neben dem aktiven Schutz vor Carbon Leakage kann durch die Schaffung klimafreundlicher Nachfrage, die Stärkung der Kreislaufwirtschaft sowie die Unterstützung von Forschung, Innovation und Transformation auch der Gefahr von Green Leakage begegnet werden. Dabei können gleichzeitig Anreize für die Dekarbonisierung im Ausland geschaffen werden. Darüber hinaus sind die Unterstützung beim Wandel des Arbeitsmarkts, die aktive Begleitung des regionalen Strukturwandels sowie die Vertiefung der internationalen Kooperation wichtige politische Handlungsfelder. Nicht zuletzt gilt es auch die Digitalisierung als Gestaltungselement zu nutzen.

Die in der Workshopreihe vertieften Themen- und Handlungsfelder liefern eine erste Übersicht über die Wirkzusammenhänge und zeigen den weiteren vertiefenden Analysebedarf insbesondere der systemischen Zusammenhänge auf. Zudem wird aus den Ergebnissen deutlich, dass die Transformation und die mit der Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten einhergehenden Veränderungsprozesse einer umfassenden Koordination und einer übergeordneten Strategie bedürfen.

2 Einleitung

Deutschland und die Europäische Union (EU) haben sich ein ambitioniertes Ziel gesetzt: die Erreichung der Klimaneutralität bis 2045 bzw. 2050. Im Rahmen des European Green Deal wurden die Emissionsminderungsziele für die EU bis 2030 zuletzt von minus 40 auf minus 55 Prozent im Vergleich zum Jahr 1990 angehoben. Für Deutschland und die EU bedeutet dies, dass der Dekarbonisierungsdruck auf die gesamte Gesellschaft – und insbesondere auf die Industrie – zunimmt.

Durch die Dekarbonisierung entstehen zum einen neue Wertschöpfungsketten im Zusammenhang mit Erzeugung, Transport und Nutzung von Wasserstoff und erneuerbaren Energien mit Auswirkungen auf energieintensive Grundstoffindustrien. Zum anderen stehen bereits existierende Wertschöpfungsketten, wie beispielsweise die Automobilindustrie und deren Zulieferstrukturen, vor einem tiefgreifenden Wandel. Deren Dekarbonisierung wird mit technischen und organisatorischen Innovationen sowie einer Veränderung bestehender Zulieferketten und Stoffkreisläufe einhergehen. Es entstehen neue Wettbewerbsbedingungen und Handelsbeziehungen. Günstige Voraussetzungen für die Reduzierung von CO₂-Emissionen werden zum Standortvorteil, Vorsprünge in CO₂-armen Produktionsprozessen zum Schlüssel für eine zukünftige Technologieführerschaft und damit den Erhalt von Arbeitsplätzen.

Diese disruptiven Veränderungen werden nicht nur in Deutschland, sondern auch in der EU und weltweit zu sozio- und geoökonomischen Herausforderungen führen und bedürfen eines vorausschauenden und strategischen politischen Handelns. Einen maßgeblichen Einfluss hat die fortlaufende Entwicklung regulatorischer Rahmenbedingungen. Dabei spielen neben der nationalen und europäischen Klima- und Energiepolitik auch handelspolitische Instrumente, wie etwa der in der EU diskutierte CO₂-Grenzausgleichsmechanismus (CBAM), eine immer größere Rolle.

Trotz weitreichender Auswirkungen auf Wirtschaft und Gesellschaft stehen die komplexen Wirkzusammenhänge rund um das Thema nach Einschätzung der Verfasserinnen und Verfasser aktuell noch zu wenig im Fokus der Politik. Zwar werden die einzelnen Themen- und Handlungsfelder bereits losgelöst voneinander diskutiert, eine gesamtheitliche Betrachtung der Treiber, Effekte und Herausforderungen der Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten und ein darauf aufbauendes strategisches politisches Handeln sind jedoch noch nicht zu erkennen. Vor diesem Hintergrund hat die dena das Projekt *Auf dem Weg zur Klimaneutralität – Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten* initiiert und gemeinsam mit dem IASS Potsdam und der Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE umgesetzt. Im Rahmen einer dreiteiligen Workshopreihe mit über 120 Teilnehmenden und 11 Referierenden wurden gemeinsam mit Fachleuten aus Wirtschaft, Wissenschaft, Zivilgesellschaft und Politik verschiedene Aspekte der Veränderung industrieller Wertschöpfungsketten diskutiert. Ziel war es, sich durch den Diskurs mit den verschiedenen Stakeholdern eine Übersicht über wichtige Themenfelder zu verschaffen, diese zu priorisieren und Handlungsfelder für die Akteure abzuleiten. Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über die komplexen Zusammenhänge der anstehenden Neustrukturierung von Wertschöpfungsketten durch die Transformation der Industrie und fasst die wichtigsten Erkenntnisse des Projekts als Impuls für die aktuelle Diskussion zusammen.

3 Treiber und Effekte der Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten

Die Haupttreiber für die Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten sind die von immer mehr Staaten formulierten **Klimaschutzziele**, die eine **Umstellung auf erneuerbare Energieträger (EE) und Rohstoffe** notwendig machen. Dafür ist der Einsatz neuer Technologien sowohl auf Prozess- und Verfahrensebene als auch auf Endproduktebene erforderlich, wodurch sich wiederum die Nachfrage nach Rohstoffen, Materialien und Zwischenprodukten verändert.

Insbesondere die energieintensiven Grundstoffindustrien, die die Grundlage vieler industrieller Wertschöpfungsketten bilden, stehen durch ihre Emissionsintensität und ihren Bedarf an fossilen Energieträgern und Rohstoffen vor großen Veränderungen, da sie diese Energieträger zur Erreichung der Klimaziele quasi vollständig durch EE ersetzen müssen.

Im Vergleich zu fossilen Energieträgern sind EE wie Strom und Wasserstoff schwerer zu transportieren. Somit wird die Entfernung von Produktions- zu Energieerzeugungsstandorten in Zukunft einen bedeutenderen Kostenfaktor als bislang darstellen. Daher wird bei steigenden Anforderungen an die Verringerung der CO₂-Intensität von Produkten und Grundstoffen auch der Kostenvorteil von Industriestandorten in Gebieten mit hohem EE-Erzeugungspotenzial, auch „Renewables Pull“ genannt, einen Einfluss auf Investitionsentscheidungen ausüben.

Eine ambitionierte Klimapolitik in der EU, insbesondere die Bepreisung von Treibhausgasemissionen ohne Schutzmaßnahmen, kann andererseits auch zu Carbon Leakage (also der Verlagerung von Produktionsmengen aus der EU in Länder mit niedrigeren Standards) führen.

Dekarbonisierung von Stahl- und Chemieindustrie

Besonders gut sichtbar wird die bevorstehende Veränderung der eingesetzten Energieträger und Rohstoffe in der Stahl- und der Chemieindustrie, deren Transformationspfade in der dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität modelliert wurden:

Die **Stahlindustrie** wird aus der Verwendung von (koks-)kohlebefeueren Hochöfen, die heute etwa 99 Prozent der deutschen Primärstahlerzeugung von 30 Mt/a ausmachen, aussteigen müssen. Dafür kommen, neben einer weiteren Steigerung des Recyclinganteils, aus heutiger Sicht nur Direktreduktionsöfen mit Wasserstoff infrage, kombiniert mit elektrischen Schmelzverfahren, insbesondere Elektrolichtbogenöfen.

Die **Chemieindustrie** wird den energetischen Einsatz fossiler Brennstoffe beenden müssen. Die größere Herausforderung liegt allerdings in der Substitution von Erdgas bzw. daraus gewonnenem grauem Wasserstoff sowie Erdölprodukten wie Naphtha, die als Grundstoffe für Produkte der chemischen Industrie wie Ammoniak und Polymere stofflich eingesetzt werden.

Daraus resultiert ein enormer Bedarf an erneuerbaren Energien:

Während 2018 beide Branchen gemeinsam ca. 100 TWh Kohle, 140 TWh Erdgas und 180 TWh Erdöl verbraucht haben, wird 2030 bereits eine Menge von ca. 40 TWh Wasserstoff erforderlich sein, die 2045 auf 155 TWh steigen wird. Dazu kommen 50 TWh mit grünem Wasserstoff hergestelltes „grünes Naphtha“ sowie 50 TWh „grünes Methanol“. Auch der direkte Strombedarf wird zunehmen, von 88 TWh 2018 auf 130 TWh 2045.

(dena, 2021)

Neben den Dekarbonisierungsbemühungen gibt es weitere Makrotrends, die Veränderungen im Rahmen industrieller Wertschöpfungsketten beeinflussen und vorantreiben:

Die **Digitalisierung** steigert die Nachfrage nach neuen Produkten und Dienstleistungen, wodurch sich neue Wertschöpfungspotenziale ergeben. Sie ermöglicht Transparenz entlang von Lieferketten, erfordert aber auch die Umstrukturierung von Unternehmen. Im Rahmen des Megatrends **Industrie 4.0** können Unternehmen ihre Partner und Kunden direkt in Entwicklungs- und Wertschöpfungsprozesse einbinden, Produkte individualisieren und die betriebliche Effizienz verbessern. Neben diesen Vorteilen ergeben sich allerdings auch neue Risiken für Unternehmen und Lieferketten. Cyberattacken auf Industrie und Wirtschaft haben in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen. Sie sorgen immer wieder für Ausfälle wichtiger Systeme und stellen in vernetzten Wertschöpfungsketten ein Problem dar. Unternehmen, die dem beschleunigten Innovationsdruck nicht standhalten, werden ihre Wettbewerbsfähigkeit verlieren.

Auch **Klimawandeleffekte** wie Wasserknappheit, Überschwemmungen oder Hitze- und Kältewellen werden zukünftig einen immer größeren Einfluss auf Lieferketten nehmen. Darüber hinaus erfordern **Umweltprobleme**, wie die Verschmutzung von Gewässern durch Kunststoffabfälle, Chemikalien aus industriellen Produktionsanlagen und Düngemittel aus der Landwirtschaft, aber auch soziale Probleme, wie z. B. **Kinderarbeit** oder Menschenrechtsverletzungen in Produktionsstätten, eine Veränderung der Art des Wirtschaftens. Umweltgesetzgebung, Nachhaltigkeitsstandards und Transparenz entlang von Lieferketten sind hier z. T. bereits existierende Anforderungen, die Maßnahmen durch staatliche und private Akteure erfordern. Zusätzlich führen **geopolitische Rivalitäten** zwischen China und den USA, aber auch mit Europa dazu, dass Investitionsentscheidungen zunehmend auch vor dem Hintergrund ihrer geoökonomischen Auswirkungen getroffen werden. Die EU hat in diesem Zuge das Konzept der offenen strategischen Autonomie formuliert. Dadurch soll ein offenes, multilaterales Handelssystem gefördert, gleichzeitig aber auch die Möglichkeiten zur strategischen Einflussnahme gestärkt werden. Hierzu gehören bestehende Instrumente wie Investitions- und Exportkontrollen sowie neue Instrumente wie der angekündigte Grenzausgleichsmechanismus. Nicht zuletzt ist auch der **demografische Wandel** ein Veränderungstreiber. Die Zahl der Personen im erwerbsfähigen Alter könnte in Deutschland bis zum Jahr 2050 um etwa acht Millionen sinken (Destatis, 2019). Durch den resultierenden Fachkräftemangel, aber auch den globalen Wettbewerb, entsteht somit ein Anreiz für die Entwicklung arbeitskraftsparender Technologien.

Während in den vergangenen Jahrzehnten ein hoher Preisdruck zu einem starken Fokus auf die Kosteneffizienz beim Aufbau und der Ausdifferenzierung globaler Lieferketten geführt hat, treten neuerdings verstärkt Disruptionen u. a. durch die oben genannten Faktoren auf. Auch gestiegene Energiepreise und Transportkosten spielen zunehmend eine Rolle. Dies wirft die Frage nach der Resilienz bisheriger Wertschöpfungsketten auf und rückt das Thema **Regionalisierung industrieller Produktion** in den Fokus. Konzepte einer verstärkten Regionalisierung bieten ein großes Potenzial für erhöhte Resilienz durch kürzere Transportwege und einfachere Möglichkeiten zur Schließung von Stoffkreisläufen. Auch im Zusammenhang mit der Stärkung

Regionalisierung industrieller Produktion in China und Indien

Bislang sind die Diversifizierung und Regionalisierung industrieller Produktions- und Lieferketten weniger auf Nachhaltigkeitsaspekte zurückzuführen als auf Importsubstitutionen – das gilt nicht zuletzt für die Wachstumsmärkte China und Indien: Als Folge von Importrestriktionen wie Zöllen oder Einfuhrbergrenzen sowie verpflichtender Joint-Venture-Bildung haben die Markteintritte internationaler Unternehmen dort zu einem Wachstum der Wertschöpfungs- und Fertigungstiefe und damit einhergehend zu einer Zunahme von Expertise in industriellen Schlüsseltechnologien geführt.

der **offenen strategischen Autonomie Europas** spielt die Regionalisierung eine Rolle. Ein vollständiges Reshoring von bereits verlagerten Produktionskapazitäten ist aber trotz der genannten Vorteile unwahrscheinlich. Vielmehr deutet sich bereits in ersten Grundzügen eine kooperative Neustrukturierung der Kompetenzen und Fertigungskapazitäten entlang der Wertschöpfungsketten an. In diese fließen die Vorteile der Regionalisierung wie die Schließung von Stoffkreisläufen und Materialflüssen ebenso wie die Beschaffung erneuerbarer Energien aber auch die Diversifizierung der globalen Beschaffung und Märkte ein. In diesem Zusammenhang wird auch von einer „Glokalisierung“ gesprochen, da hier die Vorteile von Regionalisierung und Globalisierung miteinander vereint werden. Ob im Rahmen einer zunehmenden „Glokalisierung“ über einzelne Wertschöpfungsschritte oder strategische Schlüsseltechnologien hinaus in Deutschland und Europa eine verstärkt regionalisierte Industrieproduktion entstehen wird, hängt auch von der weiteren industriepolitischen Rahmensetzung auf europäischer und nationaler Ebene ab.

Die **Corona-Pandemie** hat auf viele dieser Trends wie ein Brennglas gewirkt und Prozesse beschleunigt. Anfälligkeiten und Schwachstellen in Lieferketten wurden deutlicher denn je und sowohl die Gesellschaft als auch die Wirtschaft mussten sich disruptiven Veränderungen stellen. Durch die Unterbrechung von Lieferketten aufgrund von Lockdowns, Grenzkontrollen und Exportverboten fielen einige wichtige Zulieferer aus, was zum Stillstand ganzer Wertschöpfungsketten geführt hat (zum Beispiel Maskenknappheit, Chip-, Logistik-, Aluminiumkrise; nachgelagerte Effekte: Anstieg der Rohstoff- und Energiepreise). Dadurch sind bei vielen Unternehmen, aber auch in der Politik, Themen wie Diversifizierung, Regionalisierung, Flexibilisierung und die Resilienz von Lieferketten weiter in den Fokus gerückt.

4 Herausforderungen, Chancen und Potenziale im Kontext der Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten

Im Folgenden werden ausgewählte Themenfelder diskutiert, die in besonderem Maße zur Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten beitragen oder von ihr betroffen sind. Dabei werden konkrete Herausforderungen für den Industriestandort Deutschland untersucht und die komplexen Zusammenhänge und Auswirkungen der Neustrukturierung in verschiedenen Industriezweigen verdeutlicht.

4.1 „Renewables Pull“ und die deutsche Grundstoffindustrie

Vor dem Hintergrund der angestrebten Klimaneutralität werden die Verfügbarkeit und die Kosten erneuerbarer Energieträger zu einem bedeutsamen Standortfaktor industrieller Produktion. Regionale Kostenunterschiede für EE oder auf EE basierende Rohmaterialien können eine nationale oder internationale Verlagerung industrieller Produktion auslösen. Dieser Effekt wird von (Samadi et al., 2021) als „Renewables Pull“ bezeichnet, die resultierende Verlagerung auch als „Green Leakage“. Als „Carbon Leakage“ wird in Abgrenzung dazu die durch Emissionsbepreisung oder andere Klimaschutzmaßnahmen bedingte Verlagerung CO₂-intensiver Produktion in Drittländer mit geringeren Auflagen bezeichnet. Carbon Leakage kann zu einer wirtschaftlichen Belastung führen und die Bereitschaft zu Klimaschutzmaßnahmen verringern. In der Konsequenz kann es zu gleichbleibenden oder sogar steigenden Gesamtemissionen kommen, wenn in Drittländern weniger energieeffizient produziert wird.

Grundsätzlich kann „Renewables Pull“ durch drei Faktoren ausgelöst werden: eine durch Klimaschutzinstrumente verursachte Verteuerung fossil basierter industrieller Produktion, gesunkene EE-Preise an begünstigten Standorten oder die Entstehung einer direkten Nachfrage nach grünen Grundstoffen oder Produkten.

Insbesondere in der Stahl- und der Chemieindustrie wird eine mögliche Verlagerung industrieller Produktion aufgrund andernorts kostengünstigerer EE-Bedingungen häufig diskutiert, da diese Branchen aufgrund ihrer Energieintensität unter einem hohen Verlagerungsdruck stehen werden. So könnte etwa die Primärstahlerzeugung durch Wasserstoff-Direktreduktion von der Weiterverarbeitung zu Stahl getrennt stattfinden, da erstere überaus energieaufwendig ist und große Mengen schwer transportierbaren Wasserstoffs erfordert. Das dabei entstehende Zwischenprodukt Eisenschwamm hingegen ist sehr gut transportierbar und wird bereits heute international

Standortvorteil Wasserstoff – Produktionsverlagerung innerhalb Deutschlands

Der geplante Aufbau einer Eisenerz-Direktreduktionsanlage mit vorgeschalteter Wasserstoff-Elektrolyse am Tiefwasserhafen Wilhelmshaven durch die Salzgitter AG kann als Beispiel einer Verlagerung industrieller Produktion aufgrund von „Renewables Pull“ angesehen werden: An diesem Standort ist zukünftig ein relativ günstiger Bezug von grünem Wasserstoff erwartbar, sodass der dort mit grünem Wasserstoff produzierte Eisenschwamm zum integrierten Hüttenwerk nach Salzgitter weitertransportiert werden kann. Damit folgt die Verlagerung eines Teils der Wertschöpfungskette vom Binnenstandort Salzgitter an einen Küstenstandort ökonomischen Gründen.

(MW Niedersachsen, 2021)

gehandelt (z. B. durch das Unternehmen Voestalpine, das in Texas ein reines Direktreduktionswerk ohne eine Weiterverarbeitung zu Stahl vor Ort betreibt (Voestalpine, 2017)). In der Chemieindustrie ist die Synthese erneuerbarer Vorprodukte wie „grünes Naphtha“ im Ausland nach Aussage der dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität für eine klimaneutrale Zukunft der deutschen Chemieindustrie sogar zwingend erforderlich (dena, 2021). Verlagerungen der Produktion von Vorstufen könnten jedoch auch das Abwandern nachgelagerter Produktionsstufen mit sich bringen, für die in den Zielländern ebenfalls positive Standortbedingungen bestehen können, insbesondere wenn diese Länder ihrerseits eine aktive Industriepolitik betreiben.

Insgesamt entsteht so ein gewisses Spannungsfeld zwischen globalem Klimaschutz und nationaler Industriepolitik. Für die Erreichung der globalen Klimaschutzziele könnte die Produktion energie- und emissionsintensiver Erzeugnisse an Standorten mit mehr EE – auch innerhalb Deutschlands und Europas – durchaus vorteilhaft sein: Über die kostengünstigere Umsetzung können Emissionsminderungen in der Industrie unter Umständen schneller realisiert werden. Hierfür ist es jedoch erforderlich, an diesen Standorten die entsprechenden Infrastrukturen zu etablieren und die Einhaltung von Nachhaltigkeitsstandards bei der Produktion sicherzustellen. Die Dekarbonisierungs- und Entwicklungsbemühungen der entsprechenden Länder oder Regionen können auf diese Weise aktiv unterstützt werden. Kurzfristig kann eine derartige Verlagerung die nötige Beschleunigung der Klimaschutzbemühungen und die Deckung der absehbar zeitnah rapide steigenden Nachfrage nach grünen Produkten jedoch nicht sicherstellen. Zudem besteht die Gefahr, dass sich neben einem möglichen Verlust von Wertschöpfung und damit zusammenhängenden Arbeitsplätzen durch eine Verlagerung bestimmter Produktionsprozesse noch weitreichendere negative Folgen für nachgelagerte Wertschöpfungsketten ergeben. Soziale oder politische Verwerfungen beispielsweise aufgrund des Wegfalls von Arbeitsplätzen in bestimmten Regionen und Branchen können die Akzeptanz für Klimaschutzmaßnahmen mindern und somit insgesamt zu einer Verlangsamung der Transformationspolitik führen. Insofern besteht die Herausforderung darin, die richtige Balance zwischen den unterschiedlichen Interessen zu finden.



4.2 Chancen und Risiken für Verbundstandorte

Verbundstandorte der Chemieindustrie und integrierte Hüttenwerke der Stahlindustrie stehen durch die Transformation vor besonderen Herausforderungen. Aufgrund der starken Verzahnung von Produkt- und Energieströmen kann an diesen Standorten sehr energie- und kosteneffizient produziert werden. Durch ihren hohen Vernetzungsgrad und komplexe Abhängigkeiten sind diese Standorte aber wenig flexibel und anfällig z. B. gegenüber Lieferengpässen.

Die großen Chemie- und Stahlwerke in Deutschland sind fast alle in industriellen Clustern verankert und mit nachgelagerten Branchen eng verzahnt. Diese Industriecluster spielen für hoch spezialisierte KMU weiterverarbeitender Industrien eine wichtige Rolle und sind von großer wirtschaftlicher Bedeutung für die jeweilige Region. Bei zu einseitiger Spezialisierung eines Clusters besteht jedoch auch eine gewisse Gefahr für die wirtschaftliche Entwicklung der entsprechenden Region, da sie mit einer verminderten Resilienz gegenüber strukturellen und konjunkturellen Krisen einhergehen kann. Eine mögliche Verlagerung energieintensiver Produktionsprozesse von Grundstoffen wie Eisenschwamm, Ammoniak oder Methanol würde dann den Wegfall eines wichtigen Bausteins im Verbund bedeuten und könnte zum Auseinanderbrechen von Verbundstandorten und integrierten Werken führen. Dies wiederum hätte auch negative Effekte auf die Unternehmen der nachgelagerten Branchen im Industriecluster und könnte zu einem erheblichen Verlust von Wertschöpfung und Arbeitsplätzen sowohl in der betreffenden Grundstoff- als auch in den weiterverarbeitenden Industrien führen.

Gleichzeitig bestehen im Rahmen der Transformation aber auch besondere Chancen für Verbundstandorte und Industriecluster: Aufgrund ihrer engen Vernetzung auf verschiedenen Ebenen (wirtschaftlich, stofflich, energetisch) sind sie Kristallisationspunkte für Innovationen und Pilotprojekte und können, auch durch die priorisierte Fördermittelvergabe, Investitionen in neue Verfahren anziehen. Zudem könnte ein Anschluss dieser Standorte an neue Infrastrukturen (beispielsweise Wasserstoffleitungen) aufgrund ihrer besonderen volkswirtschaftlichen Bedeutung privilegiert werden. Auch muss die Verlagerung energieintensiver Produktionsprozesse von Grundstoffen, die aktuell in Verbundstandorten lokalisiert sind, nicht zwangsläufig zu einer Abwanderung nachgelagerter Schritte führen. Zwar besteht unbestritten ein gewisses Risiko dafür, jedoch gibt es in Deutschland durchaus etwa Beispiele für ehemals integrierte Hüttenwerke, an denen nach dem Wegfall des Hochofens die Walzwerke weiter betrieben wurden. Gründe dafür können z. B. Vorteile durch Kundennähe sein, welche u. a. eine bessere gemeinsame Produktentwicklung oder geringere Transportkosten ermöglicht. Inwieweit diese Faktoren den zukünftig entstehenden Verlagerungsdruck durch „Renewables Pull“ auf die Grundstoffindustrien aufwiegen können, muss im Einzelfall analysiert werden.

4.3 Potenziale und Herausforderungen einer Kreislaufwirtschaft

Die Steigerung der Zirkularität in industriellen Wertschöpfungsketten kann sowohl Ressourcenverbrauch als auch CO₂-Emissionen verringern. Die Wiederverwendung von Materialien verringert den Aufwand für Extraktion, Lieferung und Herstellung von Materialien aus Primärrohstoffen. Dies ist bereits heute etwa am Beispiel der Stahlindustrie gut zu erkennen. Dort spart die Herstellung von Stahl mit dem Einsatz einer Tonne recyceltem Stahlschrott 1,67 Tonnen CO₂ ein (IMWS, 2019). Darüber hinaus kann der Aufbau einer zirkulären Materialwirtschaft Wertschöpfung und Arbeitsplätze in den Regionen sichern, in denen die Endprodukte genutzt und am Ende des Lebenszyklus wiederverwertet werden. Zugleich verringert sie die Abhängigkeit dieser Märkte von Primärrohstoffen.

Das Potenzial einer zirkulären Materialwirtschaft ist jedoch noch bei Weitem nicht ausgeschöpft. So beträgt beispielsweise der Anteil an verarbeiteten Kunststoffzyklen in der Automobilindustrie aktuell gerade einmal 5,5 Prozent der eingesetzten Kunststoffe (Conversio, 2020). Dies liegt unter anderem an den tiefgreifenden Prozessumstellungen und hohen Aufwendungen für Forschung und Entwicklung (F&E), welche für die angestrebte Verwendung höherer Recyclinganteile erforderlich sind. Alle Teile der Wertschöpfungskette müssen angepasst werden, einschließlich Produktdesign, Produktion, Vertrieb und Nutzung sowie der End-of-Life-Phase. Das bringt einen entsprechenden Innovationsdruck entlang dieser Prozessschritte mit sich. Im Fall der deutschen Automobilindustrie bedeutet es, dass auch Zulieferer in den mittel- und osteuropäischen Ländern langfristig in eine Neuausrichtung ihrer Produktionskapazitäten investieren müssten, um weiterhin als Zulieferer tätig sein zu können. Dies birgt wiederum die Gefahr einer Verlagerung der Automobilindustrie aus diesen Ländern. Auch hat die Reduktion von Abfällen u. a. Auswirkungen auf Anlagen, welche aktuell sogenannte Ersatzbrennstoffe aus Abfällen zur Substitution fossiler Energieträger einsetzen (bspw. Zementwerke) oder in Waste-to-Energy-Anlagen Fernwärme erzeugen. Wie diese Beispiele deutlich machen, bestehen beim Übergang zu einer zirkulären Wirtschaft komplexe multisektorale Zusammenhänge, die einer systemischen Betrachtung bedürfen.

4.4 Die besonderen Herausforderungen für KMU

Kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) bilden mit über 99 Prozent die überwiegende Anzahl der Unternehmen in Deutschland (IfM, 2018). Zugleich spielen sie mit über 55 Prozent der Arbeitsplätze und 80 Prozent der Auszubildenden eine wichtige Rolle in der betrieblichen Qualifizierung von Fachkräften (IfM, 2020).

Während viele große Industrieunternehmen die Transformation bereits vorausschauend und technologietreibend aus eigenem Antrieb forcieren, fehlt es in KMU oftmals ebenso an Transformationswissen wie an Strategien, um die Transformationsreife zu erhöhen. Zwar sind die meisten KMU hoch spezialisiert, doch weisen sie oftmals nur geringe Skaleneffekte in ihrer Produktion auf und haben entsprechend weniger Ressourcen, um vorausschauend neue Technologien zu erforschen bzw. die Produktion frühzeitig umzustellen.

KMU haben im Kontext der Neustrukturierung also einen besonderen Bedarf an Beratung und Unterstützung, um sich zukunftsfähig transformieren zu können. Diesbezüglich bestehen aktuell z. T. starke regionale Unterschiede in den vorhandenen Beratungs- und Unterstützungsangeboten.

Verflechtungen von Chemie- und Automobilindustrie in Ostdeutschland

Mit Blick auf Deutschland nehmen im Kontext der Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten die KMU der Chemieindustrie in Ostdeutschland eine besondere Rolle ein. Sie verantworten mehr als die Hälfte des Umsatzes des Sektors. Insbesondere die nachgelagerten gummi- und kunststoffverarbeitenden Industrien (CGK-Branchen) sind eng mit der Automobilindustrie verflochten und somit auch von dieser abhängig. Für die Wertschöpfungsketten in der Automobilindustrie nimmt Ostdeutschland damit eine Sonderrolle ein, nicht nur, weil die CGK-Wertschöpfungsbeiträge hier ungleich stärker von der Automobilindustrie abhängig sind, als dies in Westdeutschland der Fall ist, sondern auch, weil diese hier zu wesentlich größeren Anteilen von KMU erbracht werden. Gründe für die starke Automobil-Ausprägung der CGK-Branchen liegen in der geografischen Nähe zu dieser Industrie, der Ausgestaltung der Lieferbedingungen sowie einer schlanken Produktion, die eine „Just in Sequence“-Produktion ermöglicht.



4.5 Herausforderungen und Chancen für den Arbeitsmarkt

Die Neustrukturierung der Wertschöpfungsketten hin zur Klimaneutralität wird auch große Effekte auf den Arbeitsmarkt haben. Von den rund 5,5 Millionen Beschäftigten der deutschen Industrie sind über 800.000 bzw. 14 Prozent in den als energieintensiv zu bezeichnenden Branchen tätig (Destatis, 2021) (BMW, 2013).

Schon heute sind Anzeichen für eine Polarisierung der Arbeit durch die verschiedenen Transformationsprozesse zu erkennen. Digitalisierung, Dekarbonisierung und technischer Fortschritt führen zu einer Verschiebung der Beschäftigungsstruktur innerhalb des produzierenden Gewerbes. Der Anteil von Arbeitsplätzen mit mittlerer Qualifikation sinkt, das Jobangebot im niedrig qualifizierten Bereich wie auch im Bereich hoch qualifizierter Tätigkeiten steigt. Insbesondere die Anforderungen an die digitalen Kompetenzen im Umgang mit neuen Technologien nehmen im Zuge der Digitalisierung industrieller Prozesse zu. Neben der geforderten Fachexpertise werden nun auch Kenntnisse in digitalen Schlüsselkompetenzen wie der allgemeinen Datenverarbeitung, dem digitalen Dokumentenmanagement (DMS), dem Umgang mit vernetzten Labor- und Analysegeräten oder Echtzeitdatensystemen, der prädiktiven Wartung oder der Erfassung und Analyse von Prozess- und Produktionsdaten nachgefragt. Darüber hinaus verschiebt sich im Kontext der Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten insgesamt auch die Nachfrage nach bestimmten Fachkenntnissen. Während Jobs, die eng an Technologien oder Produkte geknüpft sind, welche zukünftig nicht mehr produziert oder eingesetzt werden, wegfallen, entsteht gleichzeitig

Demografischer Wandel in der Chemieindustrie

Das Durchschnittsalter der Beschäftigten im Chemiesektor ist zwischen 2000 und 2018 von 40 auf 43 Jahre gestiegen. Besonders in den höheren Alterskategorien zeichnet sich dieser Trend ab: Während im Jahr 2000 der Anteil der Beschäftigten zwischen 25 und 39 Jahren und der Beschäftigten zwischen 50 und 59 Jahren um 22 Prozentpunkte auseinanderlagen, wobei die jüngere Generation deutlich die Mehrheit bildete, näherten sich diese Werte im Jahr 2018 auf eine Differenz von lediglich 1,7 Prozentpunkten an. Aus einer Prognose der ChemieNord geht hervor, dass es zukünftig stetig weniger junge Nachwuchskräfte im Chemiesektor geben wird. Hierdurch ist von einem zunehmenden Fachkräftemangel in der Branche auszugehen. Diese Entwicklung ist bereits heute sichtbar: Die Quote für Auszubildende je älterem Beschäftigten ab 55 Jahren liegt aktuell bei nur 20 Prozent.

(Rimbach, 2015)

eine große Nachfrage nach Fachkräften z. B. in den Bereichen Batterieproduktion, Kreislaufwirtschaft, Biotechnologie oder Digitalisierung. Zusätzlich wird die demografische Entwicklung den bereits existierenden Fachkräftemangel weiter verschärfen. In bestimmten Regionen und Branchen können schon heute offene Stellen nicht mehr besetzt werden, was für viele Unternehmen ein Entwicklungshemmnis darstellt.

Die Transformation der Wertschöpfung birgt aber auch Chancen für den Arbeitsmarkt und die deutsche Industrie. Schafft es diese, eine Führerschaft in Zukunftstechnologien wie Biotechnologie, Wasserstoff, ressourcenschonenden und nachhaltigen Produktionsverfahren oder Kreislaufwirtschaft aufzubauen, so kann sie sich damit von der internationalen Konkurrenz absetzen und ihren Platz im Weltmarkt stärken.

4.6 Neue Abhängigkeiten und geökonomische Herausforderungen

Durch die Transformation industrieller Wertschöpfungsketten strukturieren sich auch wirtschaftliche Abhängigkeiten neu. So werden Abhängigkeiten durch den Import fossiler Energieträger nach und nach abgebaut, wie etwa die Abhängigkeit von Erdölimporten durch den Rückgang des Benzinverbrauchs im Automobilsektor. Für den energie- und ressourcenarmen Kontinent Europa bedeutet das langfristig eine Abnahme der Importabhängigkeit. In diesem Zuge werden sich mittel- bis langfristig auch die Beziehungen zu denjenigen Ländern verändern, bei denen das Verhältnis zu Europa bisher vom Handel mit fossilen Energieressourcen geprägt war. Allen voran betrifft dies die Beziehungen zu Russland, aber auch zu anderen zentralen Öllieferanten wie Irak, Nigeria oder Kasachstan. Insofern ist davon auszugehen, dass auf eine lange Phase der vergleichsweise stabilen Beziehungen mit diesen Ländern eine Phase der Veränderung und Neuausrichtung der bilateralen Zusammenarbeit folgen wird.

Parallel dazu entstehen jedoch auch neue Abhängigkeiten und Konkurrenzverhältnisse. Mit der wachsenden Bedeutung grünen Wasserstoffs entsteht in diesem Bereich eine steigende Nachfrage nach Importen. Das betrifft nicht nur den Energieträger selbst, sondern auch kritische Rohstoffe für die Produktion der mit der Herstellung und Nutzung von Wasserstoff verbundenen Technologien und Komponenten, wie beispielsweise Platin oder Iridium. Hier können politische und unternehmerische Entscheidungen in frühen Phasen der Industrieentwicklung einen starken Einfluss auf zukünftige Industrieführerschaft entfalten. So können etwa Investitionen in Infrastrukturvorhaben für den Transport von Wasserstoff oder Strom langfristige Auswirkungen auf geökonomische Strukturen haben.

Diese weitreichenden Veränderungen erfordern einen vorausschauenden Umgang mit neuen und alten Partnern. Dabei geht es nicht nur um den Aufbau neuer Partnerschaften für den Bezug kritischer Ressourcen. Wichtig ist auch, die Verbreitung europäischer Werte und Standards zu unterstützen sowie die sozioökonomische Entwicklung und politische Stabilität insbesondere in der europäischen Nachbarschaft zu fördern.

5 Handlungsfelder zur Gestaltung der Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten

Um den Herausforderungen zu begegnen, die Chancen nutzen und die Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten gestalten zu können, gibt es zentrale Handlungsfelder für die Politik, die im Folgenden aufgezeigt werden.

5.1 Schutz vor Carbon Leakage und Green Leakage

Für die Klimapolitik der EU stellt Carbon Leakage eine der größten Herausforderungen dar. Bislang basierte der Carbon-Leakage-Schutz hauptsächlich auf der kostenlosen Zuteilung von Emissionszertifikaten, was jedoch den Dekarbonisierungsdruck für die Industrie erheblich minderte. Die EU-Kommission plant, die kostenlose Zuteilung bis 2035 durch einen CO₂-Grenzausgleichsmechanismus (CBAM) zu ersetzen, durch welchen Importe (zunächst nur solche besonders CO₂-intensiver Grundstoffe) mit dem gleichen CO₂-Preis wie die innereuropäische Produktion belegt werden sollen.

Dies soll ein sogenanntes Level Playing Field zwischen inländischer und ausländischer Produktion schaffen.

Anstelle eines unilateralen CBAM oder ergänzend dazu wird auch die Option eines sogenannten Klimaklubs diskutiert, in welchem eine Allianz verschiedener Staaten oder Wirtschaftsregionen sich auf gemeinsame bzw. harmonisierte Rahmenbedingungen für Emissionserfassung und -bepreisung einigt. Ein gemeinsamer CO₂-Preis ist allerdings aktuell aufgrund der stark abweichenden Emissionsbepreisungssysteme nicht absehbar.

Um Green Leakage zu vermeiden, ist eine Stärkung der inländischen nachhaltigen Produktion erforderlich.

Hierfür muss sichergestellt werden, dass Unternehmen geeignete Rahmenbedingungen für klimaneutrales Produzieren haben. Dies erfordert vorrangig den Aufbau von Infrastrukturen und Erzeugungskapazitäten für den Bezug erneuerbarer Energieträger, also Strom und grüner Wasserstoff. Zudem muss das Marktdesign dafür geeignet sein, diese Energieträger versorgungssicher zu wettbewerbsfähigen Preisen bereitzuhalten.

Unter bestimmten Umständen kann eine direkte oder indirekte Subvention der inländischen Produktion aus Steuermitteln oder speziellen Fonds sinnvoll sein, etwa im Rahmen der Unterstützung des Markthochlaufs für

Entwicklung und Reform des EU ETS

Im Zuge des „Fit for 55“-Programms wird angestrebt, die Emissionen im EU ETS (EU Emission Trading System) gegenüber 2005 um 61 Prozent zu senken. Dafür wird der „lineare Reduktionsfaktor“, also der Prozentsatz, um den die auszugebenden Zertifikate jährlich gesenkt werden, von 2,2 auf 4,2 Prozent ansteigen. Zudem soll die Emissionsobergrenze einmalig um 117 Mt gesenkt werden („Rebasing“). Darüber hinaus wird das System der freien Allokation reformiert. Bereits zum Ende der dritten Handelsperiode 2013–2020 ist der Anteil freizugeteilter Zertifikate über die Carbon-Leakage-gefährdeten Sektoren auf nur noch 43 Prozent gegenüber 80 Prozent zu Beginn der Handelsperiode gesunken. Bis 2035 soll das System der freien Allokation auf null reduziert werden. Seit 2018 sind u. a. durch die Einführung der Marktstabilitätsreserve (MSR) die Preise von 10 auf knapp unter 80 Euro pro Tonne CO₂ gestiegen. Bis 2030 wird mit einem weiteren Anstieg gerechnet.

(PIK, 2021)

neue Technologien oder in Form der teilweisen Unterstützung der Mehrkosten für klimaneutrale Produktion durch Klimaschutzverträge bzw. Carbon Contracts for Difference (CCfD). Positive Standortfaktoren in Deutschland wie etablierte industrielle und sozialpartnerschaftliche Strukturen, verlässliche politische und rechtliche Rahmenbedingungen, eine stabile Energieversorgung oder ausreichend qualifizierte Arbeitskräfte können Verlagerungstendenzen, sowohl Carbon Leakage als auch Green Leakage, ebenfalls entgegenwirken.

5.2 Schaffung klimafreundlicher Nachfrage

Selbst wenn ein effektiver Schutz vor Carbon Leakage sichergestellt wird, können sich Unternehmen weiterhin in einem Dilemma befinden: Da die Vermeidungskosten vieler klimaneutraler Technologien bislang noch deutlich über dem aktuellen CO₂-Preisniveau liegen, werden die unter ihrer Verwendung hergestellten grünen Produkte teurer sein als konventionelle (gleichzeitig sind beide wegen fehlender Transparenzvorschriften für Abnehmer nicht immer unterscheidbar). Dazu kommen Schwierigkeiten durch lange Investitionszyklen bei hohen Investitionskosten und teils noch nicht ausreichender Technologiereife. Diese Unsicherheiten haben einen Investitionsattentismus zur Folge, der perspektivisch zu einer Investitions- oder Produktionsverlagerung beitragen kann. Daher werden klare Rahmenbedingungen benötigt, die zu Investitionssicherheit führen. So können CCfD bei einem steigenden CO₂-Preis dafür sorgen, dass das Angebot klimafreundlicher Materialien, wie etwa „grüner Stahl“, dennoch konkurrenzfähig zu konventionellen Grundstoffen wird. Aufgrund der hohen Kosten und ihrer Komplexität können diese Verträge jedoch nicht für alle Materialien und Komponenten zum Einsatz kommen. Ergänzend dazu sollten daher Maßnahmen Anwendung finden, die gezielt die Nachfrage nach klimafreundlichen Produkten fördern. Voraussetzung hierfür sind Vorgaben für transparente Product Carbon Footprints über die gesamten Lieferketten, um eine Vergleichbarkeit von Produkten zu ermöglichen.

Die Weiterentwicklung von Nachhaltigkeitsstandards für Endprodukte kann eine zentrale Rolle bei der Positionierung der EU als grünem Leitmarkt spielen. Bisher haben diese Standards allerdings nur eine sehr begrenzte Bedeutung. Die 2009 eingeführte Ökodesign-Richtlinie fokussiert sich hauptsächlich auf die Energieeffizienz von Elektrogeräten. Ihre Weiterentwicklung im Rahmen der *Sustainable Product Initiative* bietet eine wichtige Chance, die Reichweite europäischer Nachhaltigkeitsstandards auf neue Aspekte und Produktgruppen auszuweiten.

Der Staat in seiner Rolle als Einkäufer von Produkten und Dienstleistungen in Höhe von 17–19 Prozent des BIP der EU kann durch Vorgaben für eine grüne Beschaffung einen weiteren Beitrag zur Förderung einer klimafreundlichen Nachfrage und der Entstehung entsprechender Märkte leisten (BMBF, 2021). Einen möglichen Ansatzpunkt für die Definition von Kriterien bieten Umweltzeichen wie z. B. das *EU-Ecolabel*. Allerdings ist dieses Label nur eines unter vielen bestehenden Umweltzeichen und -normen. Viele dieser Zeichen und Regelungen haben eher nationalen oder regionalen Charakter. Dies ist ein Hindernis für die Harmonisierung und Vergleichbarkeit und erschwert den Herstellern nachhaltiger Produkte die Vermarktung ihrer Angebote in verschiedenen EU-Ländern. Die EU könnte hier einen Beitrag zur Verbesserung leisten, indem sie einheitliche Anhaltspunkte und Empfehlungen für eine grüne öffentliche Beschaffung gibt. Auch bei der Beschleunigung von Innovationsprozessen kann die öffentliche Beschaffung einen Beitrag leisten. In den USA etwa wird sie bereits gezielt im Rahmen der Innovationsförderung eingesetzt. Ähnlich wie bei den Vorabverträgen für die Impfstoffentwicklung im Rahmen der Corona-Krise werden auf diese Weise Absatzmärkte für innovative Technologien gefördert. Eine entsprechende Praxis spielt in der EU und ihren Mitgliedsstaaten bislang kaum eine Rolle.

5.3 Stärkung der Kreislaufwirtschaft

Die ungenutzten Potenziale einer Kreislaufwirtschaft für die Dekarbonisierung, für die Schaffung von Arbeitsplätzen und für die Reduktion von Abhängigkeiten sind enorm. Bei der Erschließung dieser Potenziale ist Deutschland in Europa nur Mittelmaß. Insgesamt wird die Entwicklung der Kreislaufwirtschaft in Europa aufgrund der Vielzahl existierender unterschiedlicher Vorschriften und Regularien in der Abfallwirtschaft erschwert, da diese die industrielle Skalierung behindern. Die Schaffung harmonisierter Regeln und Standards und die Entwicklung eines europäischen Binnenmarkts für zirkuläre Materialien und Produkte sind daher von großer Bedeutung für die beschleunigte Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft in Europa. Auch hier bietet die Weiterentwicklung der Ökodesign-Richtlinie einen wichtigen Ansatzpunkt. Eine der dafür besonders relevanten Initiativen in der EU ist die derzeit entwickelte Methodik des *Product Environmental Footprint (PEF)*, die alle Umweltauswirkungen über den Lebenszyklus eines Produkts quantifiziert und somit eine klare und einheitliche Grundlage für den Vergleich der Nachhaltigkeit von Produkten liefern soll. Im gleichen Sinne erwägt die EU im Rahmen des European Green Deal derzeit die Einführung digitaler Produktpässe (*Digital Product Passports*), die alle wichtigen Umwelt- und Materialdaten eines Produkts entlang seines gesamten Lebenszyklus beinhalten sollen. Diese könnten die Basis für einen europäischen Binnenmarkt für Sekundärrohstoffe bilden.

5.4 Unterstützung von Forschung, Innovation und Transformation

Für einen Erhalt der Wertschöpfung in Deutschland und Europa muss die Industrie im Rahmen der Transformation auf disruptive Veränderungen reagieren. Insbesondere technische Innovationen ermöglichen den Erhalt industrieller Wertschöpfung, sichern Arbeitsplätze und können zur Technologieführerschaft im zukünftigen Produktmix beitragen. Aber auch der Umstieg auf neue Geschäftsmodelle kann die Resilienz von Unternehmen stärken.

Durch vermehrte Investitionen in Forschung und Entwicklung kann die Industrie sich zukunftsorientiert transformieren und die bevorstehenden Veränderungen aktiv mitgestalten. Hierbei ist es wichtig, dass neben den großen Industriebetrieben auch KMU, insbesondere auch in Ostdeutschland, befähigt werden, an F&E zu partizipieren, sich zu transformieren und ihr unternehmerisches Potenzial einzubringen. Neben regionalen Kompetenzzentren mit technischer Beratung für KMU und konkreter Unterstützung für Transformationsmaßnahmen kann auch die Erstellung von Branchen-Roadmaps Transparenz über mögliche technologische Transformationspfade und zukünftige Branchenstandards herstellen und somit eine Grundlage für Investitionsentscheidungen schaffen.

Um die Transformation innerhalb des gesteckten Zeitrahmens bewältigen zu können, ist eine Beschleunigung von Innovationszyklen und eine Entfesselung des unternehmerischen Potenzials wichtig. Dafür sollten Wirtschaft, Wissenschaft und Politik enger vernetzt werden und Rahmenbedingungen zur Herstellung eines innovationsfreundlichen Umfelds für Unternehmen geschaffen werden. Dies bedeutet zum einen die Förderung der Entwicklung von Ideen auf der Angebotsseite. Für eine Skalierung und einen erfolgreichen Markthochlauf bedarf es jedoch zum anderen auch einer Stärkung der Nachfrageseite, beispielsweise durch innovative öffentliche Beschaffung.



5.5 Unterstützung beim Wandel des Arbeitsmarkts

Der Transformationsdruck vieler Branchen steigt durch die Notwendigkeit der Umstellung auf klimaneutrale Produktionstechniken, eine fortschreitende Digitalisierung und die wachsende Überalterung der Beschäftigten. Es herrscht ein Mangel an Fachkräften, gleichzeitig nimmt die Akzeptanz etablierter und industrieller Produktions- und Arbeitsmodelle in vielen Teilen der Gesellschaft ab. Daher ist eine gezielte und weitsichtige Aus- und Weiterbildung von Fachkräften erforderlich.

Bei der somit benötigten Weiterbildungsoffensive ist es wichtig, Regionen, die besonders von der Transformation betroffen sind, sowie KMU gezielt in den Fokus zu nehmen. Denkbar wäre hierfür eine stärkere Fokussierung des europäischen Kompetenzpakts auf KMU und Regionen im Strukturwandel, als dies bislang der Fall ist. Im Rahmen des EU-Kompetenzpakts soll die Zusammenarbeit von Industrie, Arbeitgebern, Sozialpartnern, Handelskammern, Behörden, Bildungs- und Ausbildungsanbietern sowie Beschäftigungsagenturen bei Investitionen von Unternehmen in Anpassung, Weiterentwicklung oder Neuerwerb von Kompetenzen gestärkt werden. Insgesamt ist es unabdingbar, rechtzeitig zu erfassen, welche Kompetenzen zukünftig wichtig sein werden, welche relevanten Trends sich abzeichnen und wie sich diese auf unterschiedliche Geschäftsbereiche auswirken. Auf dieser Basis können dann Aus- und Weiterbildungsbedarfe ermittelt werden. Ein Zusammenschluss von Unternehmen zu Ausbildungsverbänden kann hier die Möglichkeit bieten, Zusatzqualifikationen zu vermitteln und den gestiegenen Anforderungen an Kompetenzen auch außerhalb des eigentlichen Berufs gerecht zu werden. Darüber hinaus kann eine Mitbestimmungskultur, die den Beschäftigten Gestaltungsmöglichkeiten eröffnet und ihre Kompetenz in den Wandel miteinbezieht, eine wichtige Voraussetzung für das Gelingen der sozial-ökologischen Transformation darstellen.

5.6 Aktive Begleitung des regionalen Strukturwandels

Die zum Teil starke regionale Verankerung bestimmter Industrien und Branchen kann im Rahmen der Neustrukturierung von Wertschöpfungsketten zu Strukturbrüchen führen. Um solche Brüche zu vermeiden, kann eine aktive Begleitung des Strukturwandels durch eine regional fokussierte Industriepolitik hilfreich sein.

Zusätzlich bedarf es für Regionen, die besonders von der Transformation betroffen sein werden, der Entwicklung und Umsetzung flankierender Maßnahmen. Der Ausbau bereits vorhandener Infrastrukturen existierender Wertschöpfungscentren und deren gezielte Weiterentwicklung können wichtige Ansätze dafür bilden, diese Zentren zum Anziehungspunkt für neue Unternehmen zu machen.

5.7 Vertiefung internationaler Kooperationen

Damit die Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten im Rahmen der Dekarbonisierung zum Erfolg wird, ist eine aktive Zusammenarbeit mit Partnern im europäischen und außereuropäischen Ausland unumgänglich. Nur auf diese Weise können die Herausforderungen des wirtschaftlichen Umbaus politisch zielführend begleitet und eine potenzielle Destabilisierung der Beziehungen vermieden werden. Dazu gehört unter anderem eine diplomatische Offensive zur gemeinsamen Umsetzung des geplanten Grenzausgleichsmechanismus mit betroffenen Wirtschaftspartnern. Der Aufbau neuer Partnerschaften bietet große politische und wirtschaftliche Chancen: Deutschland und Europa können als Vorreiter wichtige Impulse beim Aufbau neuer Wertschöpfungsketten geben. Durch die aktive Gestaltung neuer Wirtschafts- und Handelsbeziehungen können dynamische neue Wirtschaftsräume entstehen, die auch grundlegendes Potenzial für die Förderung europäischer Werte und Normen bieten. Insbesondere die Länder rund um das Mittelmeer, die Nord- und Ostseeanrainerstaaten, Osteuropa und Zentralasien spielen an dieser Stelle eine zentrale Rolle, auch wegen ihrer Nähe zu Deutschland. Darunter sind nicht nur wichtige Lieferanten fossiler Rohstoffe, sondern auch Länder mit großem Potenzial für die Erzeugung von EE, die sie in Form von Wasserstoff und ggf. auch Strom in die EU exportieren könnten. Doch ein einseitiger Fokus auf die Sicherung von Energieressourcen reicht nicht aus, um den vielschichtigen Herausforderungen der Transformation zu begegnen. Vielmehr sind integrierte Transformationspartnerschaften erforderlich, die die Transformation beschleunigen und gleichzeitig Europa und seine Nachbarschaft als gemeinsamen Wirtschaftsraum stärken. Dazu gehören eine gemeinsame Infrastrukturplanung und der Aufbau von Logistikkorridoren zur Beförderung der Entwicklung einer dekarbonisierten Wirtschaft. Um erfolgreich zu sein, müssen entsprechende Partnerschaften nicht nur der europäischen Industrie, sondern auch der Wirtschaft in den Partnerländern neue Chancen und Investitionspotenziale aufzeigen. Auf diese Weise kann die Transformation genutzt werden, um die EU als zentralen Referenzpunkt dieser Regionen zu stärken.

Die Etablierung internationaler Standards und Normen für neue Technologiefelder wird eine wichtige Möglichkeit bieten, europäische Lösungen und Ansätze auch international zu fördern und ihre Anschlussfähigkeit sicherzustellen. Während die Standardisierung in Europa aktuell vor allem in der Verantwortung privatwirtschaftlicher Akteure liegt, wächst der Politik im Rahmen einer beschleunigten Dekarbonisierung der Wirtschaft eine zunehmende Bedeutung zu. Grundlage für die internationale Zusammenarbeit auf diesem Feld

Tesla-Ansiedlung

Mit der Tesla-Ansiedlung in Grünheide (Brandenburg) werden Nachfolgeansiedlungen und Investitionen in die Region kommen. So hat das Unternehmen Rock Tech Lithium Investitionen von rund 470 Millionen Euro für die Produktion von Lithiumhydroxid in Ostbrandenburg angekündigt. Auch BASF errichtet in Schwarzheide (Brandenburg) einen neuen Produktionsstandort für Batteriematerialien. Das Cluster, das sich in Brandenburg bildet, könnte eine Sogwirkung auch auf andere Zulieferer entfalten. So stammen bei der Tesla-Gigafactory in Shanghai etwa 90 Prozent der Bauteile für die Automobilfertigung von ortsansässigen Zuliefererbetrieben. Brandenburg könnte zu einer der ersten Regionen Europas werden, die fast die gesamte Wertschöpfungskette von Elektroautos abdecken.

ist nicht zuletzt ein verstärkter europäischer Dialog, sowohl zwischen öffentlichen als auch unter privatwirtschaftlichen Akteuren. Nur auf dieser Basis kann ambitionierte europäische Klimapolitik auch internationale Entwicklungen beeinflussen.

5.8 Ausbau der Digitalisierung

Die Digitalisierung ist ein wichtiger Baustein in der Neustrukturierung von Wertschöpfungsketten, die durch diese stabiler, robuster und effizienter werden können. Sie hat das Potenzial, mehr Nähe zwischen Unternehmen (B2B) wie auch zu den Endverbrauchern (B2C) zu schaffen. Ein wesentliches Kernelement ist dabei die Erfassung und Verarbeitung von Daten in digitaler Form, häufig über die Grenzen einzelner Unternehmen hinweg. Wenn die anfallenden Daten in digitaler Form verarbeitet und ausgetauscht werden, können neue Lösungen (bspw. digitale Zwillinge) entwickelt werden. So kann beispielsweise eine standardisierte Datenaustauschplattform für die Marktkommunikation zwischen Anbieter, Lieferanten und Verbrauchern Transparenz über Emissionen, die Verfügbarkeit von Rohstoffen und Kosten liefern.

Zur Beförderung transparenter Zusammenarbeit in einer digitalisierten Industrie existieren bereits diverse Ansätze. Eine Schlüsseltechnologie für den zukünftigen Datenaustausch bildet die Distributed-Ledger-Technologie (DLT), deren bekanntestes Beispiel die Blockchain ist. Die DTL basiert auf dem technologischen Ansatz der dezentralen Buchführung in Netzwerken und ermöglicht dadurch eine Dokumentation von Transaktionen mithilfe gleichgestellter Kopien unterschiedlicher Parteien anstatt durch eine einzige zentrale Instanz. Konkrete Anwendungsbeispiele dieser Technologien in der Industrie sind beispielsweise *Energy Web*, *reciChain* und *AgBalance™ Livestock* von BASF oder der *Digital Product Passport* (Energyweb, 2021) (BASF, 2021a) (BASF, 2021b).

Das Projekt Gaia-X

Schaffung von Transparenz ist das Grundprinzip für *Gaia-X*. In diesem Projekt wird ein Standard konzipiert, durch den aktuelle lineare Wertschöpfungsketten in zukünftigen digitalen Wertschöpfungsnetzwerken und in einer transformierten Industrie ablaufen können. Auf Basis dezentraler Plattformen verschiedener Cloud-Serviceanbieter wird hier eine sichere Dateninfrastruktur geschaffen, an deren Aufbau Beteiligte aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik mitwirken. Das Ziel ist die Schaffung eines digitalen Ökosystems, in dem Unternehmen und andere Akteure sicher und transparent Daten austauschen und zusammenführen können. So können die Potenziale gemeinsamer Datennutzung und digitaler Zusammenarbeit genutzt, Wertschöpfungsprozesse optimiert und dabei gleichzeitig die Datensouveränität gewährleistet werden.

(BMW, 2021)



Gerade in Bezug auf die standardisierte Datenerfassung und -verarbeitung in der industriellen Produktion (Industrie 4.0) nehmen die EU und Deutschland wichtige Vorreiterrollen ein. Standards wie z. B. die DIN SPEC 91345:2016-04 *Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0* dienen als Referenz für große und kleine Unternehmen und entwickeln auch international Strahlkraft, die über Initiativen einzelner Forschungsprojekte hinausgeht. Damit tragen sie zur internationalen Wettbewerbsfähigkeit und Schaffung von Wettbewerbsvorteilen für europäische Unternehmen bei. Auch der Einsatz von Algorithmen bis hin zur künstlichen Intelligenz (KI) besitzt für die Änderung der Wertschöpfungsketten Potenzial. Die wichtigsten bekannten Anwendungsfälle in der produzierenden Industrie sind die Erkennung von Mustern in Daten, die Koordinierung und Optimierung von Produktionsabläufen sowie die Verwaltung komplexer Produktionsprozesse.

Das Projekt value chAIn

Einen Blick in die Zukunft der Integration von KI in Wertschöpfungsketten bietet das Projekt *value chAIn* der RWTH Aachen in Zusammenarbeit mit verschiedenen Unternehmen der Nutzfahrzeugindustrie. In dem Pilotprojekt wird eine Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure mithilfe KI-basierter Datenanalyse in allen Wertschöpfungsstufen realisiert. Dies ermöglicht es, Prozess- und Produktionsfehler abzustellen, Wartungen vorausschauend durchzuführen und die Leistungsfähigkeit der gesamten Wertschöpfungskette zu optimieren. (WZL der RWTH Aachen, 2021)

Die Digitalisierung dient als zentrales Mittel zum Erreichen transparenter und flexibler Wertschöpfungsprozesse in Produktion und Management. Neben einem zügigeren Ausbau der digitalen Infrastruktur braucht es weitere Pilotprojekte, Unterstützungsmaßnahmen und Integrierungshilfen, um Vertrauen zu schaffen und das vollständige Potenzial der vorhandenen Ansätze zur Entfaltung zu bringen. Um die Chancen und Möglichkeiten der Digitalisierung nutzen zu können, muss für die Unternehmen neben einem erleichterten und besser nachvollziehbaren Einstiegsweg zur Digitalisierung auch eine Grundlage für den sicheren Umgang mit Daten geschaffen werden. Mit zunehmender Digitalisierung von Produktion und Wertschöpfungsketten werden diese zu einem immer attraktiveren Ziel für Cyber-Angriffe, wodurch das Risiko einer Destabilisierung steigt.

6 Ausblick

Wie die Ausführungen in diesem Bericht zeigen, bringt die Transformation industrieller Wertschöpfungsketten Herausforderungen auf unterschiedlichen Ebenen mit sich. Hierzu wurden im Bericht verschiedene Ansatzpunkte dargestellt und diskutiert. Diese können allerdings nur einen Anfang bilden und zeigen vor allem weiteren Analysebedarf auf. Zentral ist die Identifikation neuer Ansätze, die das Herausarbeiten systemischer Zusammenhänge im Rahmen der Transformation industrieller Wertschöpfungsketten ermöglichen. Die Bedeutung einer systemischen Betrachtung des Übergangs von einer linearen zu einer zirkulären Wirtschaftsweise ist dabei besonders herauszuheben. Wichtig ist auch die Entwicklung geeigneter Darstellungsformen und Formate, die es ermöglichen, Analyseergebnisse im Rahmen gesellschaftlicher Aushandlungsprozesse zur Entwicklung einer nachhaltigen Industriepolitik einzusetzen.

Während die konkrete Ausgestaltung von Industriepolitik umstritten bleibt, wird zunehmend deutlich, dass die gezielte Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten nicht ohne eine übergeordnete Strategie und mit diesen verbundenen Koordinationsmechanismen zu bewältigen ist. Diesbezüglich lassen sich Ziele entlang der folgenden drei Dimensionen unterscheiden:

- (1) In bestimmten Wirtschaftszweigen soll ein Mindestmaß an inländischer Produktion aufrechterhalten werden, um über strategische Schlüsseltechnologien zu verfügen und um Versorgungssicherheit zu gewährleisten.
- (2) Die sozialpolitischen Auswirkungen struktureller Anpassungsprozesse sollen abgefedert werden.
- (3) Zukunftsträchtige Produktionsbereiche sollen gestärkt und ihr Anteil an der Gesamtproduktion erhöht werden. Als zukunftssträchtig sind diejenigen Produktionsbereiche anzusehen, die zu einem in sozialer, ökologischer und ökonomischer Hinsicht nachhaltigen Ressourcenverbrauch sowie zur Treibhausgasneutralität beitragen und gleichzeitig inländische strategische Produktionsstrukturen aufrechterhalten.

Bei alledem ist klar, dass politische Gestaltung nicht die Aufgabe eines einzelnen Akteurs sein kann. Vielmehr handelt es sich bei der anstehenden Transformation um eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe, die sektorenübergreifend alle Wertschöpfungsketten umfasst. Eine progressive Gestaltung hängt daher auch von der erfolgreichen Gestaltung von Verhandlungsprozessen zwischen beteiligten Akteuren und der effektiven Mobilisierung gesellschaftlicher und privater Ressourcen für gemeinsame Zwecke ab. Um eine entsprechende Ressourcenmobilisierung zu erreichen, ist eine Balance zwischen stabilen politischen und regulativen Rahmenbedingungen auf der einen und einem angemessenen Raum für die Erprobung neuer Ansätze auf der anderen Seite nötig. Nur so können auch die erforderlichen Potenziale neuer Technologien für den Wandel gehoben werden. Insbesondere die Digitalisierung und die Vernetzung von Prozessen erfordert Experimentierräume, um die damit verbundenen Möglichkeiten zu erproben. Dies bedingt die Förderung einer neuen Kultur der Zusammenarbeit zwischen Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft, um die für die Erreichung der Klimaneutralitätsziele notwendige Beschleunigung von Innovationsprozessen sicherzustellen.

Literaturverzeichnis

- BASF (2021a): Envisioning Plastics Circularity. Online unter [<https://www.basf.com/ca/en/who-we-are/sustainability/Sustainability-in-Canada/reciChain.html>]
- BASF (2021b): AgBalance® – Improving Sustainability Performance In Agriculture. Online unter [<https://agriculture.basf.com/global/en/sustainable-agriculture/agbalance.html>]
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (2021): Innovationsorientierte Öffentliche Beschaffung. Online unter [<https://www.horizont-europa.de/de/Innovationsorientierte-Offentliche-Beschaffung-1889.html>]¹
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2013): Die Energiewende gelingt nur mit den energieintensiven Industrien. Online unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Monatsbericht/Monatsbericht-Themen/09-2013-energieintensive.pdf?__blob=publicationFile&v=3]
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021): Der deutsche Gaia-X Hub. Online unter [<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/gaia-x.html>]
- Conversio (2020): Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2019 – Kurzfassung der Conversio Studie. Online unter [https://www.bvse.de/dateien2020/2-PDF/02-Press/03-Kunststoff/2020/0909-Kurzfassung_Stoffstrombild_2019.pdf]
- Deutsche Energie-Agentur GmbH (2021): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Online unter [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/Abschlussbericht_dena-Leitstudie_Aufbruch_Klimaneutralitaet.pdf]
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2018): Arbeitsmarkt im Wandel – Wirtschaftsstrukturen, Erwerbsformen und Digitalisierung. Online unter [https://www.destatis.de/DE/Methoden/WISTA-Wirtschaft-und-Statistik/2018/03/arbeitsmarkt-wandel-032018.pdf?__blob=publicationFile&v=5]
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2019): Ergebnisse der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung. Online unter [<https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/Tabellen/variante-1-2-3-altersgruppen.html>]
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2021): Beschäftigte im Verarbeitenden Gewerbe im Juni 2021: -1,4 % zum Vorjahresmonat. Pressemitteilung vom 16. August 2021. Online unter [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/08/PD21_385_421.html]
- Energyweb (2021): We build operating systems for energy grids: Online unter [www.energyweb.org]
- Internationale Arbeitsorganisation (2016): Hintergrund: Globale Lieferketten menschenwürdig gestalten. Online unter [https://www.ilo.org/berlin/arbeitsfelder/lieferketten/WCMS_546786/lang--de/index.htm]
- Internationale Arbeitsorganisation (2021): Globale Lieferketten und CSR. Online unter [<https://www.ilo.org/berlin/sozialpartner/globale-lieferketten/lang--de/index.htm#banner>]
- Institut für Mittelstandsforschung Bonn (2018): Unternehmensbestand. Online unter [<https://www.ifm-bonn.org/statistiken/unternehmensbestand/kmu-insgesamt/deutschland>]
- Institut für Mittelstandsforschung Bonn (2020): Mittelstand im Einzelnen: Online unter [<https://www.ifm-bonn.org/statistiken/mittelstand-im-einzelnen/auszubildende>]

Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS (2019): Einsatz von Schrott in der Stahlherstellung mindert CO₂-Ausstoß erheblich. Online unter [<https://www.imws.fraunhofer.de/de/presse/pressemitteilungen/stahl-schrott-kreislaufwirtschaft-co2.html>]

Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Digitalisierung (2021): „Wasserstoff-basierte Eisenerz-Direktreduktion am Standort Wilhelmshaven“: Machbarkeitsstudie erfolgreich abgeschlossen. Pressemeldung vom 25.08.2021. Online unter [<https://www.mw.niedersachsen.de/startseite/aktuelles/presseinformationen/wasserstoff-basierte-eisenerz-direktreduktion-am-standort-wilhelmshaven-machbarkeitsstudie-erfolgreich-abgeschlossen-203618.html>]

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (2021): Strengere CO₂-Bepreisung durch den EU Green Deal könnte bereits 2030 das Ende der Kohleverstromung in Europa bedeuten. Pressemeldung vom 27.04.2021. Online unter [<https://www.pik-potsdam.de/de/aktuelles/nachrichten/strengere-co2-bepreisung-durch-den-eu-green-deal-koennte-bereits-2030-das-ende-der-kohleverstromung-in-europa-bedeuten>]

Rimbach, A. (2015): Chemieformel zum demografischen Wandel. Die Arbeitszeitsituationsanalyse zur Gestaltung lebensphasenorientierter Arbeitszeit. ChemieNord – Arbeitgeberverband für die Chemische Industrie in Norddeutschland e. V., Hamburg

Samadi, S., Lechtenböhrer, S., Viebahn, P. & Fischer, A. (2021): Renewables Pull – Verlagerung industrieller Produktion aufgrund unterschiedlicher Kosten erneuerbarer Energien. Online unter [<https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/7793>]

Sandbag (2021): New study shows limited trade impacts of European Carbon Border Adjustment Mechanism. Pressemeldung vom 30.08.2021. Online unter [<https://sandbag.be/index.php/2021/08/30/new-study-shows-limited-trade-impacts-of-european-carbon-border-adjustment-mechanism/>]

Voestalpine (2017): voestalpine – Direktreduktionsanlage in Texas seit 1. April 2017 in Vollbetrieb. Pressemeldung vom 17.05.2017. Online unter [<https://www.voestalpine.com/group/de/media/presseaussendungen/2017-05-10-voestalpine-direktreduktionsanlage-in-texas-seit-1-april-2017-in-vollbetrieb/>]

Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen (2021): KI-basiertes Fehlermanagement in Wertschöpfungsketten. Pressemeldung vom 19.10.2021. Online unter [<https://www.wzl.rwth-aachen.de/cms/WZL/Das-WZL/Presse-und-Medien/Aktuelle-Meldungen/~rihrr/KI-basiertes-Fehlermanagement-in-Wertsch/>]

Hinweis: Sämtliche Online-Quellen wurden zuletzt am 22.01.2021 abgerufen.

